পরিপাক বিপাক ও পুষ্টি

পরিপাক বিপাক ও পুষ্টি

[পারিভাষিক শব্দসংকলনসহ]

দেবজ্যোতি দাশ
অধ্যাপক, শারীরবিদ্যা বিভাগ
প্রেসিডেন্সি কলেজ, কলিকাতা

পরিমার্জিত দ্বিতীয় সংস্করণ

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ

Paripāka Vipāka O Puṣṭi
[Digestion, Metabolism and Nutrition]

প্রথম সংস্করণ জুলাই 1975

প্রকাশক :
পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ
আর্য ম্যান্‌সন
6এ রাজা সুবোধ মল্লিক স্কোয়ার
কলিকাতা-700013

মুদ্রক :
মডার্ন প্রিণ্টার্স
12 উল্টাডাঙ্গা মেন রোড
কলিকাতা-700067

চিত্রাঙ্কন :
শ্রীবীরেন দাস
শ্রীঅমল দাশগুপ্ত
শ্রীমৈনাকশঙ্কর রায়
পরিমলবিকাশ সেন

[সরকারী আনুকূল্যে প্রাপ্ত সুলভ মূল্যের কাগজে মুদ্রিত]

Published by Prof. Dibyendu Hota, Chief Executive Officer, West Bengal State Book Board under the Centrally Sponsored Scheme of production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

দ্বিতীয় সংস্করণে গ্রন্থকারের নিবেদন

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদের উদ্যোগে এই গ্রন্থের দ্বিতীয় সংস্করণ প্রকাশিত হইতেছে। শারীরবিদ্যার স্নাতক পাঠ্যক্রমের একটি মুখ্য অংশ পুস্তকটির বিষয়বস্তু। বাংলা ভাষায় বিশ্ববিদ্যালয় পর্যায়ে পাঠ্যপুস্তক প্রণয়নের উদ্দেশ্যে শিক্ষামন্ত্রক কর্তৃক পরিচালিত প্রকল্পের অংশরূপেই এই গ্রন্থটি লিখিত হইয়াছে। বর্তমান সংস্করণে পুস্তকটির পরিচ্ছেদগুলি সম্পূর্ণ পুনর্লিখিত ও নূতনভাবে বিন্যস্ত হইয়াছে। প্রাসঙ্গিক বিষয়ে আধুনিক গবেষণালব্ধ তথ্য ও সমকালীন তত্ত্বের যথাসম্ভব অন্তর্ভুক্তির মাধ্যমে গ্রন্থটিকে কালোপযোগী ও সমৃদ্ধতর করিবার প্রয়াস পাইয়াছি। 'খাদ্যের জৈব উপাদান', 'পরিপাক ও শোষণ', 'পৌষ্টিক নালীর হর্মোন', 'অজৈব লবণ ও জলের বিপাক', 'কার্বোহাইড্রেট বিপাক', 'লিপিড বিপাক', 'প্রোটিন বিপাক', 'নিউক্লিওপ্রোটিন বিপাক', 'খাদ্য ও পুষ্টি' প্রভৃতি বহু পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু নূতন তথ্য সংযোজন ও আলোচ্য প্রসঙ্গগুলির পুনর্বিন্যাসের মাধ্যমে নবরূপে পরিবেশিত হইয়াছে। ভাষাকে সাবলীল ও সুগম, বক্তব্যকে তথ্যানুসারী ও দ্ব্যর্থতাহীন এবং আলোচনার পরিসরকে সুসংহত ও সংক্ষিপ্ত রাখিবার প্রয়াস সতত অক্ষুণ্ণ থাকিয়াছে। বিষয়বস্তুর স্বয়ংসম্পূর্ণতা ও সহজ-বোধ্যতার জন্য পুস্তকে বহু নূতন সারণী সন্নিবেশিত হইয়াছে। অধিকাংশ চিত্র প্রচলিত বিজ্ঞানচিন্তার পরিপ্রেক্ষিতে নূতনভাবে অঙ্কিত হইয়াছে এবং গ্রন্থের মোট চিত্রসংখ্যাও বিগত সংস্করণের তুলনায় প্রায় দ্বিগুণ হইয়া গিয়াছে।

পুস্তকের শেষাংশে পরিবেশিত পারিভাষিক শব্দসংকলনটি যথেষ্ট সম্প্রসারিত ও আনুপূর্বিক পরিমার্জিত হইয়াছে। 'নিদর্শপঞ্জী'তে এই গ্রন্থের বিষয়বস্তু সম্বন্ধে কয়েকটি সর্বাধুনিক পুস্তকপুস্তিকার নাম উল্লেখিত হইয়াছে।

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদের অনুরোধে ডঃ হরিপদ চট্টোপাধ্যায় বর্তমান সংস্করণের পাণ্ডুলিপিটি পুনরীক্ষণ (review) করিয়াছেন। তিনি সাগ্রহে ও সযত্নে পাণ্ডুলিপিটি পুঙ্খানুপুঙ্খ পরীক্ষা ও মূল্যায়ন করিয়াছেন এবং আমাকে অকুণ্ঠ উৎসাহ দিয়াছেন। এজন্য তাঁহার নিকটে আমি বিশেষভাবে ঋণী।

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদের শ্রীঅশোক অ্যাণ্টনী বিশ্বাস, শ্রীঅতীন দত্ত, শ্রীগোপাল চন্দ্র দাস প্রমুখ কর্মীদের প্রীতিপূর্ণ সহায়তার কথা আমি কৃতজ্ঞচিত্তে স্মরণ করিতেছি। মডার্ন প্রিণ্টার্সের স্বত্বাধিকারী শ্রীসুরেশ দত্ত যেভাবে ব্যক্তিগত আগ্রহে মুদ্রণসৌকর্য ও দ্রুত প্রকাশনার জন্য অবিরত সচেষ্ট থাকিয়াছেন, তজ্জন্য আমি তাঁহার নিকটে কৃতজ্ঞ, এবিষয়ে মডার্ন প্রিণ্টার্সের সকল কর্মীও আমার ধন্যবাদার্হ। আমার কিশোর পুত্র শ্রীসায়ন দাশ আমাকে প্রুফ সংশোধনের কার্যে অনুক্ষণ সাহায্য করিয়াছে।

সর্বোপরি পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদের মুখ্য প্রশাসন আধিকারিক অধ্যাপক দিব্যেন্দু হোতা অনুপম আন্তরিকতা ও অপরিসীম নিষ্ঠায় এই গ্রন্থের প্রকাশনকার্য পরি-চালনা করিয়াছেন। তাঁহার সহজাত সহৃদয়তা, পরিশীলিত প্রাজ্ঞতা, সাগ্রহ সহযোগিতা এবং নিরলস কর্মোদ্যম আমাকে অভিভূত করিয়াছে।

প্রেসিডেন্সি কলেজ
কলিকাতা
1 ডিসেম্বর 1982

দেবজ্যোতি দাশ

প্রথম সংস্করণে গ্রন্থকারের নিবেদন

অর্বাচীন চিন্তাধারা বা সমকালীন মতাদর্শকে এদেশে মাতৃভাষায় বিজ্ঞান-শিক্ষা ও চর্চার প্রয়াসের কারণ বলিয়া বিবেচনা করা অনুচিত। ঊনবিংশ শতকের সূচনায় শ্রীরামপুরে ফেলিক্স কেরী 'বিদ্যাহারাবলী' নামক বাংলা কোষগ্রন্থের যে পরিকল্পনা করিয়াছিলেন, তাহারই প্রথম গ্রন্থরূপে ফেলিক্স-রচিত অ্যানাটমি বা 'ব্যবচ্ছেদবিদ্যা' 1819-20 খ্রীস্টাব্দে প্রকাশিত হইয়াছিল—বাংলা ভাষায় শরীরবিজ্ঞান তথা যাবতীয় পাশ্চাত্য বিজ্ঞানের আলোচনায় এই পুস্তকটিকে পথিকৃৎস্বরূপ বিবেচনা করা হয়। শরীরবিজ্ঞানের দুরূহ বিদেশী বৈজ্ঞানিক শব্দগুলির পরিভাষা অংশতঃ প্রাচীন সংস্কৃত গ্রন্থাদি হইতে চয়ন করিয়া এবং অংশতঃ নিজ চেষ্টায় রচনা করিয়া ফেলিক্স কেরী বিস্ময়কর সরল ভাষাতেই বিষয়বস্তুর আলোচনা করিয়াছিলেন। শারীরবিদ্যা (ফিজিওলজি) সম্বন্ধেও কিছু কিছু আলোচনা গ্রন্থটিতে স্থান পাইয়াছিল ; যথা, তিনি পেশীর ক্রিয়ার জন্য তন্মধ্যে রক্তপ্রবাহের প্রয়োজনীয়তা ও সেবিষয়ে পরীক্ষা, পেশীগামী বা নার্ভতন্ত্রগামী শিরার ব্যাধির ফলে পক্ষাঘাতের আশঙ্কা প্রভৃতি অতি সরল ভাষায় বিবৃত করিয়াছিলেন। ঊনবিংশ শতাব্দীর শেষপাদ হইতেই আত্মসচেতন ও জাতীয়তাবোধে উদ্বুদ্ধ বুদ্ধিজীবী সমাজ মাতৃভাষায় বিজ্ঞান আলোচনার গুরুত্ব উপলব্ধি করেন এবং তখন হইতেই প্রায় নিরবচ্ছিন্ন ধারায় একদিকে বাংলা ভাষায় বিজ্ঞান-সাহিত্য রচনা ও অপরদিকে বিজ্ঞানবিষয়ক বিদেশী শব্দের পরিভাষা সংকলনের কার্য চলিতে থাকে। আধুনিক কালে শারীরবিদ্যা, পুষ্টিতত্ত্ব প্রভৃতি প্রাসঙ্গিক বিষয়ে বাংলা গ্রন্থের ক্ষেত্রে আচার্য প্রফুল্লচন্দ্র রায় ও শ্রীহরগোপাল বিশ্বাসের রচিত 'খাদ্যবিজ্ঞান', শ্রীনীলরতন ধর কর্তৃক রচিত 'আমাদের খাদ্য', শ্রীরুদ্রেন্দ্রকুমার পালের লিখিত 'হর্মোন' প্রভৃতি পুস্তকের উল্লেখ করা যায়।

বাংলা ভাষায় শারীরবিদ্যার পাঠ্যপুস্তক প্রকাশের কর্মসূচীর অংশরূপেই বর্তমান গ্রন্থটি রচিত হইয়াছে। শারীরবিদ্যার স্নাতক পাঠ্যক্রমের একাংশমাত্র লিখিবার ভার গ্রন্থকারের উপরে অর্পিত হইয়াছিল। এই গ্রন্থে সুষম খাদ্য, তাহার পরিপাক, দেহ-মধ্যে ঐ খাদ্যের নানা পরিবর্তন এবং দেহের পুষ্টি সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনার প্রয়াস করা হইয়াছে ; বিশেষতঃ পুষ্টিসম্বন্ধীয় পরিচ্ছেদে ভারতে প্রচলিত খাদ্য, ভারতীয়দের পুষ্টিবিষয়ক প্রয়োজনীয়তা, এদেশে অপুষ্টিজনিত রোগ, বিভিন্ন সর্বভারতীয় সমীক্ষায় লব্ধ তথ্য প্রভৃতির অল্পবিস্তার আলোচনা বা উল্লেখ করা হইয়াছে। কার্বোহাইড্রেট, স্নেহপদার্থ, প্রোটিন, ভিটামিন, এনজাইম প্রভৃতির শ্রেণীবিভাগ, রাসায়নিক প্রকৃতি ও গুণাগুণের বিস্তারিত আলোচনা পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ কর্তৃক পরিকল্পিত অন্য একটি পুস্তকের অন্তর্ভুক্ত হইবার কথা ; সেজন্য ঐ সকল বিষয়ের বিস্তারিত আলোচনা বর্তমান গ্রন্থে করা যায় নাই। তবে এই গ্রন্থের আলোচ্য বস্তু সহজবোধ্য ও স্বয়ংসম্পূর্ণ করিবার জন্য 'ভূমিকা' পরিচ্ছেদে এনজাইম সম্বন্ধে এবং 'খাদ্যের জৈব উপাদান' পরিচ্ছেদে কার্বোহাইড্রেট, প্রোটিন, স্নেহপদার্থ প্রভৃতি সম্বন্ধে অতি সংক্ষিপ্ত পরিচয় প্রদত্ত

হইয়াছে। পুষ্টি ও বিপাকে (metabolism) ভিটামিনগুলির অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা থাকায় সেবিষয়ে আলোচনা না করিলে বর্তমান গ্রন্থের পুষ্টিসম্বন্ধীয় আলোচনা অর্থহীন ও অসম্পূর্ণ থাকিয়া যাইত, সেজন্য অনন্যোপায় হইয়া 'পুষ্টি' পরিচ্ছেদে ভিটামিনগুলির কেবল উপরি-উক্ত ভূমিকা সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করিতে হইয়াছে। দেহে শক্তির বিপাক (energy-metabolism) সম্বন্ধীয় আলোচনাও অন্য গ্রন্থের বিষয়ান্তর্গত বলিয়া নির্দিষ্ট হওয়ায় সে বিষয়েও বর্তমান গ্রন্থে আলোচনা করা যায় নাই, কেবল 'পুষ্টি' পরিচ্ছেদের আলোচনা বোধগম্য করিবার জন্য অতি সংক্ষেপে 'মৌল বিপাকহার' (BMR) সম্বন্ধে পরিচিতি প্রদত্ত হইয়াছে।

মূলতঃ শারীরবিদ্যার পাস্ পাঠ্যক্রমের জন্য রচিত হইলেও এরূপ আশা আছে যে, ঐ বিষয়ের অনার্স পাঠ্যক্রমের ছাত্রছাত্রীও হয়তো কোনও কোনও পরিচ্ছেদ পাঠে কিছু লাভবান হইতে পারেন। শারীরবিদ্যার অধ্যাপক-অধ্যাপিকা ও ছাত্রছাত্রীদের নিকটে এই পুস্তকটি যদি কিছু স্বীকৃতি লাভ করে, তবেই গ্রন্থরচনার পরিশ্রম সার্থক হইবে।

পুস্তকে আলোচিত ও পরিবেশিত তথ্যাদির সূত্রনির্দেশের জন্য 'নিদর্শপঞ্জী'তে কিছু পুস্তকপুস্তিকার নামোল্লেখ করা হইয়াছে; উৎসাহী পাঠকপাঠিকা ঐ সকল পুস্তক পাঠে জ্ঞানের পরিধি বিস্তৃততর করিতে পারেন। কিন্তু স্নাতক শ্রেণীর ছাত্রছাত্রীর পক্ষে অপ্রয়োজনীয় বিবেচনায় 'নিদর্শপঞ্জী'তে কোনও মৌলিক গবেষণাপ্রবন্ধের উল্লেখ করা হয় নাই।

কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের 'বৈজ্ঞানিক পরিভাষা' গ্রন্থে সংকলিত পারিভাষিক শব্দগুলি শারীরবিদ্যা আলোচনার পক্ষে যথেষ্ট নয়; বিশেষতঃ শারীরবিদ্যার দ্রুত প্রগতি ও প্রসারের সঙ্গে সঙ্গে বহু নূতন পারিভাষিক শব্দের প্রয়োজন অপরিহার্য হইয়া পড়িয়াছে, পুরাতন পারিভাষিক শব্দগুলির মধ্যেও কতকগুলির পরিবর্তন বা পরিমার্জনের আবশ্যকতা দেখা দিয়াছে। এই অবস্থায় বিশ্ববিদ্যালয়ের সংকলিত পরিভাষা এবং অন্যান্য লেখক কর্তৃক ব্যবহৃত পারিভাষিক শব্দ ব্যতীত কিছু কিছু নবসৃষ্ট পারিভাষিক শব্দও পুস্তকে ব্যবহার করিতে হইয়াছে—গ্রন্থে ব্যবহৃত পারিভাষিক শব্দের একটি তালিকা পাঠকপাঠিকার সুবিধার্থে গ্রন্থের শেষভাগে দেওয়া হইয়াছে।

এই পুস্তকের প্রকাশনকার্যের প্রত্যেক পদে পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদের মুখ্য প্রশাসন আধিকারিক শ্রীঅবনী মিত্রের অকৃপণ সহযোগিতা, সহৃদয় আগ্রহ ও নিরলস উদ্যোগ আমাকে অভিভূত করিয়াছে, তাঁহাকে আন্তরিক কৃতজ্ঞতা জ্ঞাপন করিতেছি। মুদ্রণসৌকর্যের কৃতিত্ব অবশ্যই এস. এন্টুল এণ্ড কোং প্রাইভেট লিমিটেড-এর শ্রীপ্রফুল্লকুমার মুখোপাধ্যায় ও শ্রীপ্রাণকুমার মুখোপাধ্যায়ের প্রাপ্য; বিশেষতঃ শ্রীপ্রাণকুমার মুখোপাধ্যায় যেভাবে অনুক্ষণ মুদ্রণ পারিপাট্যের প্রতি সতর্ক দৃষ্টি রাখিয়াছেন এবং দ্রুত কর্মসম্পাদনের ব্যবস্থা করিয়াছেন, তজ্জন্য তাঁহাকে আন্তরিক ধন্যবাদ জানাইতেছি। পুস্তকের কিছু রঙীন চিত্র ও রেখাচিত্র অঙ্কনের জন্য শিল্পী শ্রীমৈনাকশঙ্কর রায়কে ধন্যবাদ জ্ঞাপন করিতেছি।

আমার তিন পূজনীয় শিক্ষক ডঃ দুলালপদ সাধু, ডঃ অচিন্ত্যকুমার মুখোপাধ্যায় ও

ডঃ সুশীলরঞ্জন মৈত্র মহাশয় আমাকে নানাভাবে উৎসাহিত করিয়াছেন এবং গ্রন্থরচনার বিষয়ে নানা সৎপরামর্শ দিয়াছেন, সেজন্য তাঁহাদের নিকটে কৃতজ্ঞ রহিলাম।

আমার পরম পূজ্যপাদ অধ্যাপক শ্রীপরিমলবিকাশ সেন মহাশয় এই পুস্তকের পুনরীক্ষণের (review) সময়ে মাসের পর মাস প্রত্যহ দীর্ঘক্ষণ ধরিয়া পুস্তকের প্রতিটি তথ্য পুঙ্খানুপুঙ্খ পরীক্ষা আলোচনা ও বিচার করিয়াছেন, গ্রন্থের বহু চিত্রের অঙ্কনে অপরিসীম সহায়তা করিয়াছেন এবং নানা বিষয়ে মূল্যবান পরামর্শ দিয়া বহুভাবে পুস্তকের মানোন্নয়নে প্রয়াসী হইয়াছেন ; এমনকি অসুস্থতার মধ্যেও এবিষয়ে তাঁহার পরিশ্রম, চিন্তা ও সহযোগিতার বিন্দুমাত্র ব্যত্যয় ঘটে নাই। তাঁহার এই সীমাহীন স্নেহের ঋণে আমি চিরকালের জন্য ঋণী থাকিয়া গেলাম।

কলিকাতা
জুলাই 1975

দেবজ্যোতি দাশ

সূচীপত্র

সপ্তদশ পরিচ্ছেদ : কার্বোহাইড্রেট বিপাক 179—234

অষ্টাদশ পরিচ্ছেদ : লিপিড বিপাক 235—294

ঊনবিংশ পরিচ্ছেদ : প্রোটিন বিপাক 295—337

বিংশ পরিচ্ছেদ : নিউক্লিওপ্রোটিন বিপাক 338—358

প্রথম পরিচ্ছেদ

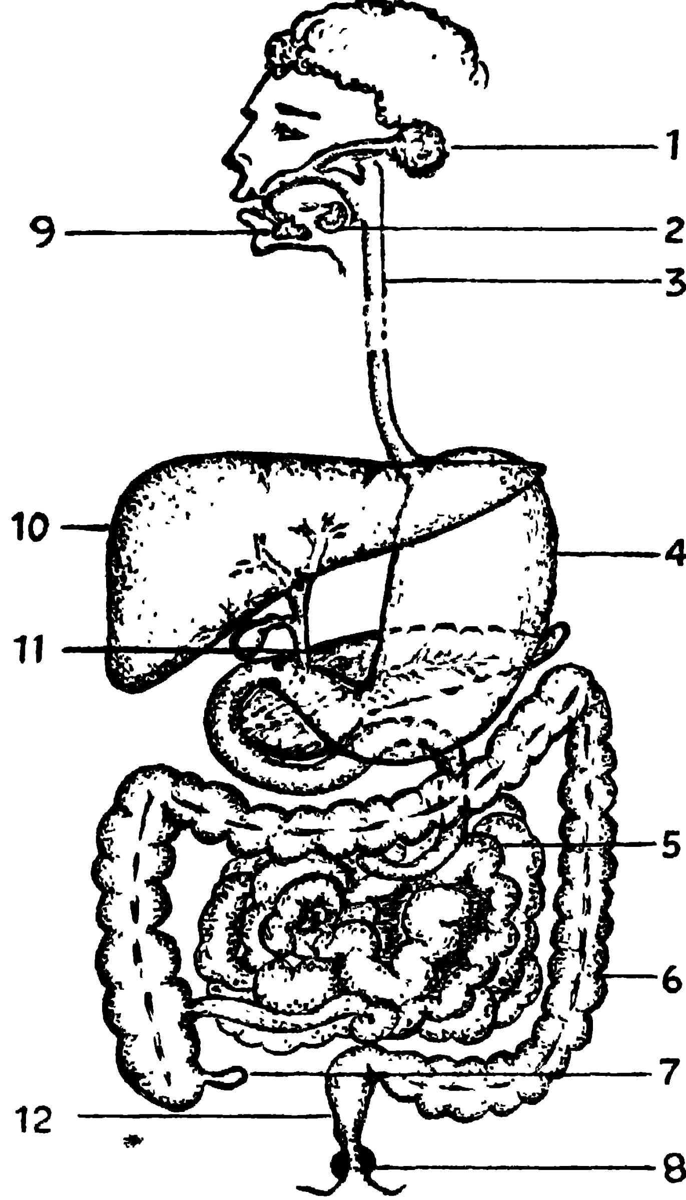
ভূমিকা

1.1 পৌষ্টিক নালীতে খাদ্যের পরিপাক

কার্বোহাইড্রেট, প্রোটিন, ফ্যাট, ফসফোলিপিড প্রভৃতি খাদ্যবস্তুর বৃহৎ অণুগুলিকে ভাঙ্গিয়া দেহমধ্যে শোষণের উপযোগী অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্র ও জলদ্রাব্য অণুতে পরিণত করাই পরিপাকের উদ্দেশ্য। আহারের পরে খাদ্য পৌষ্টিক নালী (alimentary canal) দিয়া আগাইয়া যাইতে থাকে ; সেই সময়ে পৌষ্টিক নালীর গাত্রস্থিত অনৈচ্ছিক (involuntary) পেশীর সঞ্চালনের (movement) ফলে খাদ্য দলিত ও পিষ্ট হইয়া পৌষ্টিক নালীর বিভিন্ন কক্ষে ক্ষরিত পাচকরসের (digestive juice) সহিত মেশে। ঐ পাচকরসগুলিই খাদ্যকে পরিপাক করে।

মুখবিবর হইতে মলদ্বার পর্যন্ত খাদ্যবাহী নালীটিকেই পৌষ্টিক নালী বলে। আহারের সময়ে খাদ্যকে মুখবিবরে দন্তের সাহায্যে কাটিয়া ও পিষিয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কোমল খণ্ডে পরিণত করা হয় এবং জিহ্বা সঞ্চালন করিয়া তাহাকে লালার সহিত মেশানো হয় ; লালার ক্রিয়ায় খাদ্য পিচ্ছিল হয় এবং তাহার পরিপাকও আরম্ভ হইয়া যায়। ইহার পরে জিহ্বা সঞ্চালনের দ্বারা খাদ্যকে গিলিবার উপযোগী স্থানে লইয়া যাওয়া হয়। গিলিবার পরে খাদ্য ক্রমশঃ গলবিল (pharynx), গ্রাসনালী (oesophagus), পাকস্থলী ও অন্ত্র বাহিয়া আগাইয়া চলে। মুখবিবরের পশ্চাদ্ভাগ হইতে গলবিল খাদ্যকে গ্রাসনালী পর্যন্ত বাহিয়া আনে। গ্রাসনালী কণ্ঠ ও বক্ষগহ্বর (thorax) দিয়া আসিয়া উদর-গহ্বরে পাকস্থলীতে উন্মুক্ত হয় (চিত্র 1.1)। পাকস্থলীর অপরপ্রান্ত হইতে ক্ষুদ্রান্ত্রের সূচনা ; দীর্ঘ, সরু ও কুণ্ডলায়িত ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রথমাংশকে গ্রহণী (duodenum), দ্বিতীয়াংশকে মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র (jejunum) ও শেষাংশকে শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র (ileum) বলে। শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে খাদ্য বৃহদন্ত্রে প্রবেশ করে ; ইহা ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে প্রশস্ততর, কিন্তু হ্রস্বতর। বৃহদন্ত্রের প্রথমাংশ অন্ধান্ত্র বা সিকাম (caecum), দ্বিতীয়াংশ মলাশয় বা কোলন (colon) এবং শেষাংশ মলনালী (rectum)। মলনালী হইতে পরিপাক ও শোষণ না হওয়া খাদ্যাবশেষ মলের আকারে মলদ্বার দিয়া বাহির হইয়া যায়।

পাকস্থলী, ক্ষুদ্রান্ত্র ও বৃহদন্ত্রের গাত্রে অবস্থিত গ্রন্থিগুলি (gland) হইতে ঐ কক্ষগুলির বিবরে (lumen) বিভিন্ন পাচকরস ক্ষরিত হয়। তাহা ছাড়া



চিত্র 1.1. পাচনতন্ত্রের অঙ্গসংস্থান। 1-প্যারটিড গ্রন্থি ; 2-সাবম্যান্‌ডিবুলার গ্রন্থি ; 3-গ্রাসনালী, 4-পাকস্থলী, 5-ক্ষুদ্রান্ত্র, 6-বৃহদন্ত্র ; 7-অ্যাপেন্‌ডিক্স ; 8-মলদ্বার, 9-সাবলিং-গুয়াল গ্রন্থি ; 10-যকৃত ; 11-অগ্ন্যাশয়, 12-মলনালী।

পৌষ্টিক নালীর সহিত যুক্ত অগ্ন্যাশয়, যকৃত এবং তিন জোড়া লালাগ্রন্থি হইতেও পাচকরস ক্ষরিত হইয়া পৌষ্টিক নালীতে আসে। লালা মুখবিবরে এবং অগ্ন্যাশয়-রস (pancreatic juice) ও পিত্ত (bile) গ্রহণীতে প্রবেশ করে ; অবশ্য গ্রহণীতে নিঃসৃত হওয়ার পূর্বে যকৃত হইতে ক্ষরিত পিত্ত পিত্তাশয়ে

(gall bladder) গিয়া কিছুক্ষণ সঞ্চিত থাকে। এই সকল পাচকরসের এনজাইম ও অন্যান্য উপাদানের সাহায্যে পৌষ্টিক নালীতে খাদ্যের পরিপাক ঘটে। পৌষ্টিক নালী ও তৎসংলগ্ন এই গ্রন্থিগুলি লইয়া পাচনতন্ত্র (digestive system) গঠিত।

পরিপাকের সময়ে খাদ্যের বৃহৎ ও জটিল অণুগুলি প্রধানতঃ বিভিন্ন পাচকরসের এনজাইমগুলির ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট (hydrolysed) হইয়া ক্ষুদ্রতর, সরলতর ও অধিকতর জলদ্রাব্য অণুতে পরিণত হয়। মানুষ ও অন্যান্য স্তন্যপায়ীর দেহে খাদ্যের এই পরিপাক মুখ্যতঃ পৌষ্টিক নালীর বিবরেই ঘটিয়া থাকে ; ইহাকে **কোষবহির্ভূত পরিপাক** (extracellular digestion) বলে। কিন্তু ঐ সকল প্রাণীর দেহে কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট ও প্রোটিনের আংশিক পরিপাকজাত অণুগুলি অনেক ক্ষেত্রে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে শোষিত হওয়ার পরে ঐ কোষগুলির মধ্যে বিভিন্ন এনজাইমের সাহায্যে তাহাদের পরিপাক সম্পূর্ণ হয় ; ইহাকে **অন্তঃকোষ পরিপাক** (intracellular digestion) বলে।

অন্ধান্ত্র ও মলাশয়ের অধিবাসী বহু ব্যাকটেরিয়া ও এককোষী প্রাণীও (protozoa) খাদ্যের অল্পস্বল্প পরিপাক ও পচন (putrefaction) ঘটাইয়া থাকে।

1.2 এনজাইম

সাধারণতঃ জীবদেহে কোভ্যালেন্ট বন্ধনী (bond) নামক রাসায়নিক বন্ধনীগুলির ভাঙ্গন বা সৃজনের দ্বারা রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটাইতে এনজাইম নামক কতকগুলি প্রোটিনবর্গীয় অনুঘটকের (catalyst) প্রয়োজন হয়, কিন্তু হাইড্রোজেন বন্ধনী প্রভৃতি নন্‌-কোভ্যালেন্ট বন্ধনী ভাঙ্গিতে বা গড়িতে সাধারণতঃ এনজাইমের প্রয়োজন হয় না। অনুঘটকরূপে কাজের শেষে এনজাইমগুলির অণু অপরিবর্তিত থাকিয়া যায়, ফলে সামান্য পরিমাণ এনজাইম অনেকটা পদার্থকে প্রভাবিত করিতে পারে। এনজাইম জীবিত কোষের মধ্যেই সংশ্লেষিত (synthesized) হয়, কিন্তু কোষের বাহিরেও তাহার ক্রিয়া অক্ষুণ্ণ থাকে। প্রত্যেক এনজাইম মাত্র একটি বা অল্প কয়েকটি বিশেষ বস্তুর উপরেই প্রভাব বিস্তার করিয়া তাহাদের রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটাইতে পারে ; ঐজাতীয় বস্তুকে এনজাইমটির ক্রিয়াধীন বস্তু (substrate) বলে। এনজাইমের ক্রিয়ার সময়ে এনজাইম অণুটি প্রথমে ক্রিয়াধীন বস্তুর সহিত মিলিয়া এনজাইম-ক্রিয়াধীন বস্তু যোগ (enzyme-substrate complex) উৎপাদন করে ; পরমুহূর্তে ঐ যোগটি ভাঙ্গিয়া এনজাইমের অবিকৃত অণু এবং ক্রিয়াধীন অণুটির পরিবর্তনজাত এক

বা একাধিক বস্তুর অণু উৎপন্ন হয়। অনেক এনজাইমের অণুতে প্রোটিন বর্গের সহিত একটি প্রোটিনেতর বর্গ (prosthetic group or coenzyme) যুক্ত হইয়া থাকে এবং এই বর্গটিও এনজাইমের কার্যে নানাভাবে সাহায্য করে। প্রত্যেক এনজাইমের ক্রিয়ার পক্ষে একটি সর্বোত্তম তাপমাত্রা (optimum temperature) এবং হাইড্রোজেন আয়নের একটি সর্বোত্তম গাঢ়তা (optimum pH) আছে; মাত্রাতিরিক্ত শীতোষ্ণতা, ক্ষারত্ব বা অম্লত্ব এনজাইমের ক্রিয়া হ্রাস করে এবং উহার অণুটির বিকৃতিও ঘটাইতে পারে। অনেক সময়ে কোনও কোনও বস্তুর সহিত মিলনের ফলে এনজাইম অণুটির আকার বা গঠনে পরিবর্তন ঘটিয়া উহার ক্রিয়া কমিতে বা বাড়িতে পারে। কখনও কখনও ক্রিয়াধীন বস্তুর সহিত আণবিক গঠনের সাদৃশ্যবশতঃ অন্য কোনও বিজাতীয় বস্তুর অণু এনজাইমের সহিত অপেক্ষাকৃত স্থায়ী যৌগ উৎপাদন করে, ফলে ক্রিয়াধীন বস্তুটির সহিত মিলনের উপযোগী বর্গটি (binding site) বিজাতীয় অণুর সহিত আবদ্ধ হইয়া যাওয়ায় এনজাইম-ক্রিয়াধীন বস্তু যৌগের উৎপাদন ও এনজাইমের ক্রিয়া হ্রাস পায়। বিশেষতঃ প্রোটিন পরিপাকের অনেকগুলি এনজাইম নিষ্ক্রিয় জাইমোজেন বা প্রো-এনজাইম আকারে ক্ষরিত হয় এবং দেহে তাহাদের স্বাভাবিক ক্রিয়াস্থলে পৌঁছিয়া অন্য কোনও প্রোটিন-পাককারী এনজাইম, অ্যাসিড বা অপর কোনও রাসায়নিক পদার্থের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইয়া সক্রিয় এনজাইম অণুতে পরিণত হয়।

ক্রিয়া অনুযায়ী এনজাইমগুলিকে নানা শ্রেণীতে ভাগ করা হয়: (i) **অক্সিডোরিডাক্‌টেজ** (oxidoreductases): এই এনজাইমগুলি (যথা, মাইটোকনড্রিয়ার শ্বসন-সহায়ক এনজাইমগুলি) তাহাদের ক্রিয়াধীন বস্তুর জারণ (oxidation) বা বিজারণ (reduction) ঘটায়। (ii) **ট্রান্সফেরেজ** (transferases): এই শ্রেণীর এনজাইম একটি ক্রিয়াধীন বস্তুর অণু হইতে দ্বিতীয় ক্রিয়াধীন বস্তুর অণুতে একটি বর্গকে (group) স্থানান্তরিত করে। যথা, ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে নিউক্লিওসাইড ফস্‌ফোরিলেজ এনজাইমটি অজৈব ফসফেট অণু হইতে ফসফেট বর্গকে নিউক্লিওসাইড অণুতে স্থানান্তরিত করে, ফলে শেষোক্ত বস্তুটি পরিপাক হইয়া পেন্টোজ ফসফেট এবং পিউরিন বা পিরিমিডিনে ভাঙ্গিয়া পড়ে (8.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। (iii) **হাইড্রোলেজ** (hydrolases): এই এনজাইমগুলি তাহাদের ক্রিয়াধীন বস্তুকে জলবিশ্লিষ্ট করে। ক্রিয়াধীন বস্তুর যে কোভ্যালেন্ট বন্ধনীটি জলবিশ্লিষ্ট হয়, তাহার রাসায়নিক প্রকৃতি অনুযায়ী ইহাদের এস্টারেজ, পেপ্‌টাইডেজ, গ্লাইকোসাইডেজ প্রভৃতি নানা উপশ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়। পাচকরসগুলির বিভিন্ন

হাইড্রোলেজই পরিপাকে মুখ্য অংশগ্রহণ করে। (iv) লায়েজ (lyases) : ইহারা ক্রিয়াধীন যৌগকে জলবিশ্লেষ ব্যতীত অন্য কোনও বিক্রিয়ার মাধ্যমে ভাঙ্গিয়া একটি বর্গকে মুক্ত করে এবং অবশিষ্ট অণুটিতে একটি দ্বিবন্ধনী (double bond) সৃষ্টি করে। যথা, ইউরিয়া সংশ্লেষণের পথে আর্জিনিনো-সাক্সিনেজ এনজাইমটি আর্জিনিনোসাক্সিনেট হইতে আর্জিনিন ও ফিউমারেট উৎপাদন করে। (v) আইসোমেরেজ (isomerases) : ইহারা কোনও বস্তুকে তাহার আইসোমার (isomer) অণুতে পরিণত করে ; যথা, ক্ষুদ্রান্ত্র-গাত্রের কোষমধ্যে মোনোগ্লিসেরাইড আইসোমেরেজ 2-মোনোগ্লিসেরাইডকে 1-মোনোগ্লিসেরাইডে পরিণত করিয়া তাহার পরিপাকে পরোক্ষে সাহায্য করে (8.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। (vi) লাইগেজ (ligases) : ইহারা যথেষ্ট শক্তি ব্যয় করিয়া দুইটি ক্রিয়াধীন বস্তুর অণুকে কোভ্যালেণ্ট বন্ধনীর সাহায্যে পরস্পর মিলাইয়া একটিমাত্র অণু উৎপন্ন করে ; যথা, গ্লুটামিন সিন্‌থেটেজ এনজাইমটি এভাবে গ্লুটামিক অ্যাসিড ও অ্যামোনিয়াকে যুক্ত করিয়া গ্লুটামিন সংশ্লেষণ করে।

দেহে বিপাক (metabolism) ও পরিপাকে এনজাইমগুলি অপরিহার্য। উপরের দৃষ্টান্তগুলি হইতে বোঝা যায় যে, পরিপাক মুখ্যতঃ হাইড্রোলেজ বা জলবিশ্লেষক এনজাইমগুলির দ্বারা সম্পন্ন হইলেও দুই-একটি অন্য শ্রেণীর এনজাইমও (যথা, নিউক্লিওসাইড ফসফোরিলেজ এবং মোনোগ্লিসেরাইড আইসোমেরেজ) পরিপাকে অংশ লয়।

1.3 খাদ্যের শোষণ ও বিপাক

খাদ্যের পরিপাকজাত অণুগুলি নানাপ্রকার ভৌত (physical) এবং সক্রিয় (active) পদ্ধতির মাধ্যমে প্রধানতঃ ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে এবং কিছু পরিমাণে বৃহদন্ত্র হইতে শোষিত হইয়া যায়। সক্রিয় শোষণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি উৎপাদন এবং খাদ্যবস্তুকে বহনের জন্য নানাপ্রকার এনজাইম এবং বাহক (carrier) প্রোটিন আন্ত্রিক কোষগুলিতে বর্তমান। অচিরে শোষিত বস্তুগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষ হইতে রক্ত বা লসিকায় (lymph) প্রবেশ করে। অনেক ক্ষেত্রেই খাদ্য-বস্তুর পরিপাকের শেষ পর্দাটি ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে শোষণের পরে সুসম্পন্ন হয়। পাচকরসগুলির মধ্যে পিত্ত প্রত্যক্ষভাবে একাধিক শ্রেণীর খাদ্যবস্তুর শোষণে সাহায্য করে।

শোষিত খাদ্যবস্তু দেহে প্রধানতঃ এনজাইমের ক্রিয়ায় নানাভাবে পরিবর্তিত হয় ; এই সকল পরিবর্তন ও বিক্রিয়াকে বিপাক বা চয়াপচয় (metabolism)

বলে। বিপাকের যে সকল পদ্ধতিতে শোষিত খাদ্যবস্তু হইতে বৃহত্তর ও জটিলতর অণু সংশ্লেষিত হইয়া দেহের কলায় সন্নিবেশিত হয় বা সঞ্চিত থাকে, তাহাদের একত্রে চয় বা উপচিতি (anabolism) বলে। পক্ষান্তরে খাদ্যবস্তু ও কলার ভাঙ্গনের দ্বারা ক্ষুদ্রতর বর্জ্য দ্রব্য (waste product) এবং শক্তি উৎপাদনের পদ্ধতিগুলিকে একত্রে অপচয় বা অপচিতি (catabolism) বলে।

অপচিতি-জনিত ক্ষয় পূরণের জন্য, শক্তি উৎপাদনের জন্য এবং উপচিতির মাধ্যমে কলায় নূতন সামগ্রী সন্নিবেশ করিয়া দেহের বৃদ্ধি ও অন্যান্য জৈব ক্রিয়া সুসম্পন্ন করিবার জন্য নিয়মিত উপযুক্ত পরিমাণে আহারের দ্বারা দেহের পুষ্টি অক্ষুণ্ন রাখিতে হয়।

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

খাদ্যের জৈব উপাদান

খাদ্যে জল ও অজৈব লবণ ব্যতীত কয়েকটি জৈব উপাদানও বর্তমান। এই জৈব উপাদানগুলির মধ্যে কার্বোহাইড্রেট, লিপিড, প্রোটিন ও নিউক্লিইক অ্যাসিড পরিমাণে অপেক্ষাকৃত অধিক ; এগুলি ছাড়া অতি অল্প পরিমাণে ভিটামিন নামক এক শ্রেণীর জৈব উপাদানও খাদ্যের অপরিহার্য অঙ্গ (21.1 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

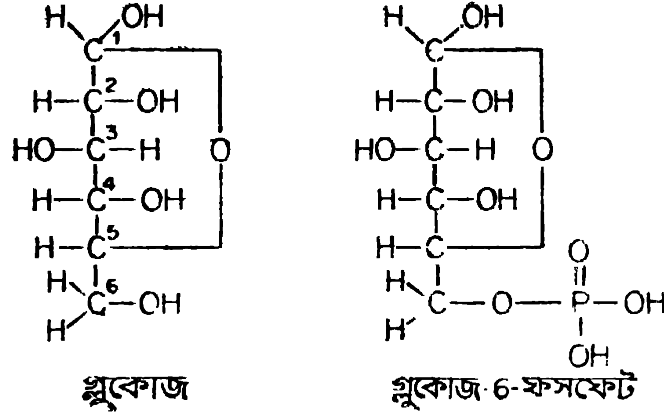
2.1 কার্বোহাইড্রেট

কার্বোহাইড্রেট বলিতে কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনে গঠিত এমন পদার্থকে বুঝায় যাহার অণুতে একাধিক অ্যাল্‌কোহলীয় হাইড্রক্সিল বর্গ (group) এবং এক বা একাধিক মুক্ত বা আবদ্ধ (bound) অ্যাল্‌ডিহাইড বা কিটোন বর্গ বর্তমান। অনেক কার্বোহাইড্রেট অণুতে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত 2 : 1, কিন্তু ইহার বেশ কয়েকটি ব্যতিক্রমও আছে।

অ্যাল্‌ডিহাইড বা কিটোন বর্গ মুক্ত অবস্থায় থাকিলে তাহার সাহায্যে কার্বোহাইড্রেট অণুটি অন্য কোনও বস্তুকে বিজারিত (reduced) করিতে পারে ; এরূপ কার্বোহাইড্রেটকে বিজারক (reducing) কার্বোহাইড্রেট বলে। যথা, গ্লুকোজ উপযুক্ত ক্ষারধর্মী পরিবেশে কিউপ্রিক আয়নকে (Cu^{2+}) বিজারিত করিয়া কিউপ্রাস আয়নে (Cu^{+}) এবং রৌপ্য আয়নকে (Ag^{+}) ধাতব রৌপ্যে (Ag) পরিণত করিতে পারে, অতএব গ্লুকোজ একটি বিজারক শর্করা (reducing sugar)। পক্ষান্তরে, অণুতে অ্যাল্‌ডিহাইড বা কিটোন বর্গটি অন্য কোনও বর্গের সহিত কোভ্যালেন্ট বন্ধনী (covalent bond) দ্বারা আবদ্ধ থাকিলে সেরূপ কার্বোহাইড্রেটের বিজারক গুণ থাকে না এবং তাহাকে অবিজারক (non-reducing) কার্বোহাইড্রেট বলে, যথা সুক্রোজ ও স্টার্চ।

কার্বোহাইড্রেট অণুর এক বা একাধিক অ্যাল্‌কোহলীয় হাইড্রক্সিল বর্গ ফসফোরিক অ্যাসিড বা অন্য কোনও অ্যাসিডের সহিত এস্টার বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত থাকিতে পারে। যথা, ছয়-কার্বনবিশিষ্ট গ্লুকোজ অণুর ষষ্ঠ কার্বনটির হাইড্রক্সিল বর্গ এভাবে ফসফোরিক অ্যাসিডের সহিত আবদ্ধ হইলে গ্লুকোজ-

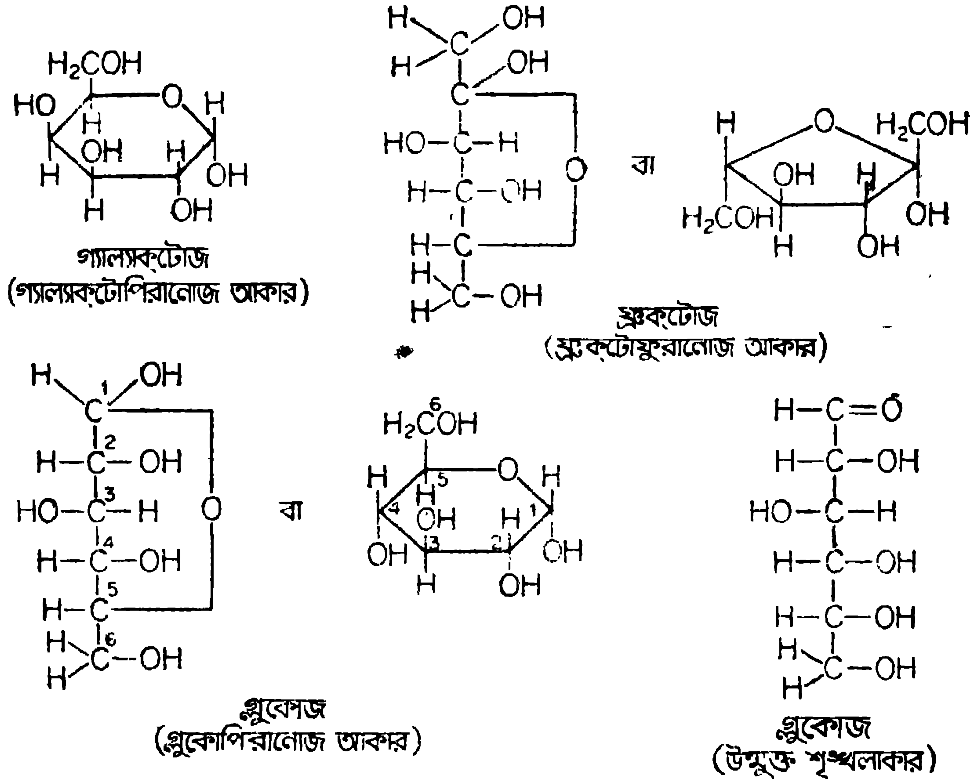
6-ফসফেট নামক অণু গঠিত হয় (চিত্র 2.1)। দেহে বিভিন্ন শর্করার এজাতীয় ফসফেট-ঘটিত এস্টারগুলির গুরুত্ব আছে।



চিত্র 2.1. গ্লুকোজ (গ্লুকোপিরানোজ আকার) ও গ্লুকোজ-6-ফসফেট। গ্লুকোজের কার্বনগুলি প্রচলিত রীতি অনুযায়ী সংখ্যা দ্বারা চিহ্নিত হইয়াছে।

কার্বোহাইড্রেটগুলিকে প্রধানতঃ দুইটি শ্রেণীতে ভাগ করা যায় :

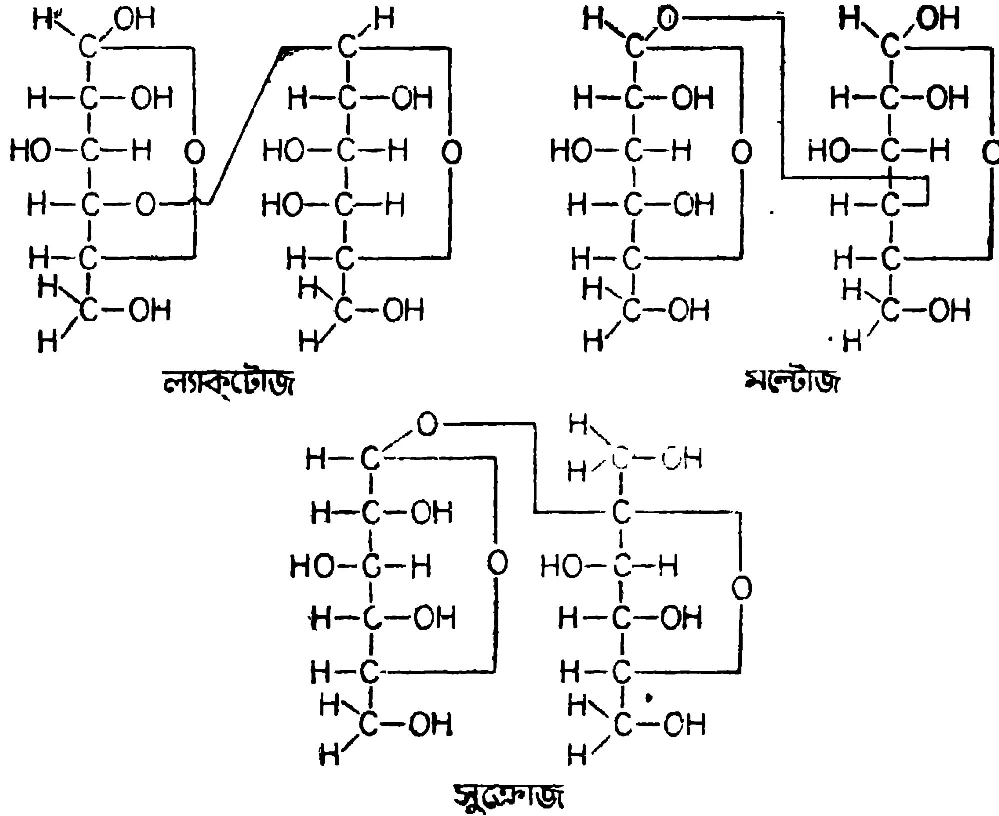
1. মোনোস্যাকারাইড : যে সকল কার্বোহাইড্রেটের অণুকে জল-বিশ্লেষের (hydrolysis) দ্বারা একাধিক ক্ষুদ্রতর কার্বোহাইড্রেট অণুতে পরিণত



চিত্র 2.2. কয়েকটি হেক্সোজের পিরান বা ফুরান বলয়িত আকার (দুইভাবে লিখিত) এবং উন্মুক্ত শৃঙ্খলাকার।

করা যায় না, তাহাদের মোনোস্যাকারাইড বা সরল শর্করা (monosaccharides or simple sugars) বলে (চিত্র 2.2)। সাধারণতঃ অণুতে কার্বনের সংখ্যা অনুযায়ী মোনোস্যাকারাইডগুলিকে বিভিন্ন উপশ্রেণীতে ভাগ করা হয় ; যথা, গ্লুকোজ, ফ্রুক্টোজ, গ্যাল্যাক্টোজ প্রভৃতি ছয়-কার্বনবিশিষ্ট (C_6) শর্করাগুলি হেক্সোজ উপশ্রেণীর অন্তর্ভুক্ত, আবার রাইবোজ নামক পাঁচ-কার্বনবিশিষ্ট (C_5) শর্করাটি পেন্টোজ উপশ্রেণীর অন্তর্গত। সকল সরল শর্করাই বিজারক (reducing) শর্করা।

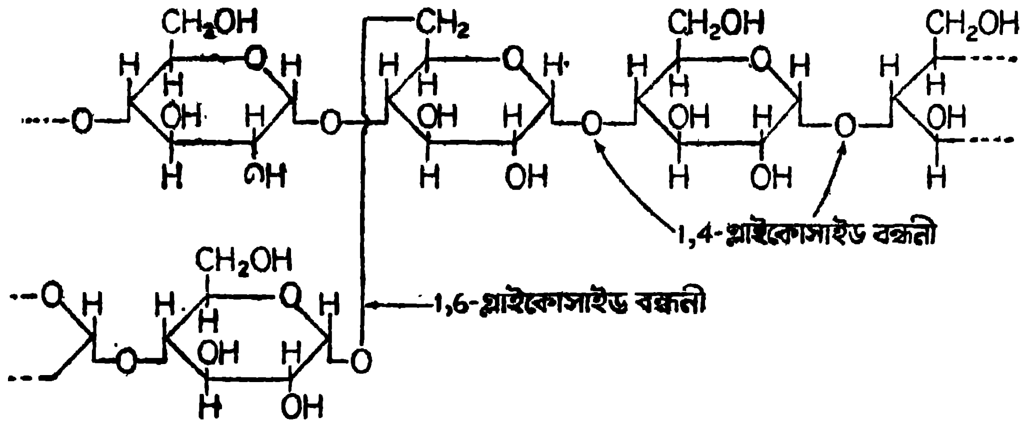
2. **যৌগ কার্বোহাইড্রেট :** যে কার্বোহাইড্রেটগুলির অণুকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া দুই বা ততোধিক সরলতর কার্বোহাইড্রেট অণুতে ভাঙ্গিয়া ফেলা যায় তাহাদের যৌগ কার্বোহাইড্রেট (compound carbohydrates) বলে ; অর্থাৎ



চিত্র 2.3. কয়েকটি ডাইস্যাকারাইড।

প্রত্যেক যৌগ কার্বোহাইড্রেট অণুতে দুই বা ততোধিক সরল শর্করার অণু গ্লাইকোসাইড বন্ধনীর (glycoside bond) দ্বারা পরস্পর যুক্ত থাকে—প্রতিটি গ্লাইকোসাইড বন্ধনী একটি শর্করা অণুর অ্যালডিহাইড বা কিটোন বর্গকে অপর একটি শর্করা অণুর কোনও একটি অ্যালকোহলীয় হাইড্রক্সিল বর্গের সহিত

আবদ্ধ রাখে। যৌগ কার্বোহাইড্রেটগুলি দুইটি মুখ্য উপশ্রেণীতে বিভক্ত : **(i) অলিগোস্যাকারাইড** (oligosaccharides) : ইহাদের অণু 2-9টি মোনো-স্যাকারাইড অণুর মিলনে গঠিত ; যথা, সুক্রোজ, ল্যাক্টোজ, মল্টোজ প্রভৃতি ডাইস্যাকারাইডের অণু দুইটি করিয়া মোনোস্যাকারাইড অণুর মিলনে গঠিত (চিত্র 2.3), ফলে জলবিশ্লেষের দ্বারা প্রতিটি ডাইস্যাকারাইড অণুকে দুই অণু মোনোস্যাকারাইডে পরিণত করা যায়। **(ii) পলিস্যাকারাইড** (polysaccharides) : ইহাদের অণু বহু মোনোস্যাকারাইড অণুর মিলনে গঠিত ; যথা,



চিত্র 2.4. গ্লাইকোজেন অণুর একাংশ।

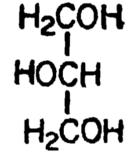
বহু অণু গ্লুকোজ নানাভাবে পরস্পরের সহিত গ্লাইকোসাইড বন্ধনী দিয়া যুক্ত হইয়া স্টার্চ, গ্লাইকোজেন, সেলুলোজ প্রভৃতি ভিন্ন ভিন্ন পলিস্যাকারাইড গঠন করে (চিত্র 2.4)। পলিস্যাকারাইডের জলবিশ্লেষের ফলে বিভিন্ন ক্ষুদ্রতর পলিস্যাকারাইড, অলিগোস্যাকারাইড প্রভৃতি পদের মাধ্যমে পরিণামে বহু অণু মোনোস্যাকারাইড উৎপন্ন হয়।

2.2 লিপিড

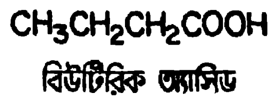
ফ্যাট (স্নেহপদার্থ), ফসফোলিপিড, গ্লাইকোলিপিড, স্টেরয়েড প্রভৃতিকে লিপিড বলা হয় ; সাধারণতঃ ইহারা জলে দ্রবীভূত হয় না, কিন্তু ইথার, ক্লোরোফর্ম প্রভৃতিতে দ্রবীভূত হয়।

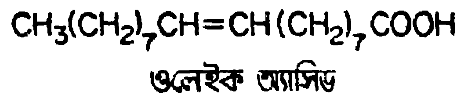
1. ফ্যাট : ফ্যাট বা স্নেহপদার্থের অণু গ্লিসেরল (চিত্র 2.5) ও ফ্যাটি বা চর্বিজাতীয় অ্যাসিডের (চিত্র 2.6) মিলনে গঠিত। গ্লিসেরলের তিনটি অ্যাল্‌কোহলীয় হাইড্রক্সিল বর্গই তিনটি ফ্যাটি অ্যাসিড অণুর কার্বক্সিল বর্গের সহিত এস্টার বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত হইলে ট্রাইগ্লিসেরাইড ফ্যাটের অণু

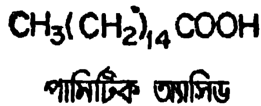
উৎপন্ন হয় (চিত্র 2.7)। ডাইগ্লিসেরাইড ও মোনোগ্লিসেরাইডের অণুতে গ্লিসেরল অণুর সহিত যথাক্রমে দুইটি ও একটি ফ্যাটি অ্যাসিড অণু এস্টার বন্ধনী দিয়া যুক্ত থাকে। বিভিন্ন ট্রাইগ্লিসেরাইড অণুতে ভিন্ন ভিন্ন প্রকারের ফ্যাটি অ্যাসিড নানা অনুপাতে বর্তমান। কতকগুলি ফ্যাটি অ্যাসিড বৃহদণু (higher) ফ্যাটি অ্যাসিড নামে পরিচিত : তাহাদের অণুতে দশটির বেশি কার্বন পরমাণু থাকে ; যথা, পামিটিক অ্যাসিড (চিত্র 2.6)। ক্ষুদ্রাণু (lower) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির অণুতে দশটি বা তাহার কম কার্বন বর্তমান : যথা বিউটিরিক অ্যাসিড। যে সকল ফ্যাটি অ্যাসিডের কার্বন-কঙ্কালে (carbon skeleton) অর্থাৎ কার্বন পরমাণুতে গঠিত আণবিক শৃংখলে (molecular chain) দ্বিবন্ধনী (double bond) থাকে, তাহারা অসংপৃক্ত (unsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিড ; যথা ওলেইক ও অ্যারাকিডোনিক অ্যাসিড (চিত্র 2.6)। যাহাদের অণুর কার্বন-কঙ্কালে এরূপ দ্বিবন্ধনী বা অসংপৃক্তি নাই, তাহাদের সংপৃক্ত (saturated) ফ্যাটি অ্যাসিড বলে। ফ্যাটি অ্যাসিডে পরস্পরযুক্ত কার্বন

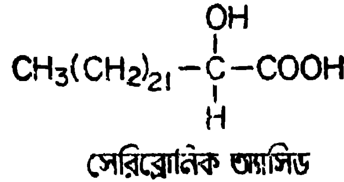


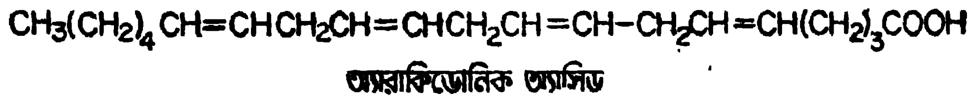
চিত্র 2.5. গ্লিসেরল।







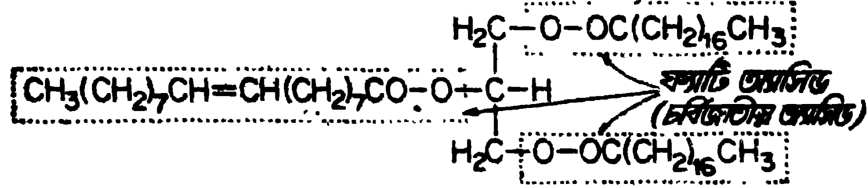




চিত্র 2.6. কয়েকটি চর্বিজাতীয় বা ফ্যাটি অ্যাসিড।

পরমাণুগুলি উন্মুক্ত শৃংখলের আকারে থাকিতে পারে : এরূপ ফ্যাটি অ্যাসিডকে অ্যালিফ্যাটিক (aliphatic) ফ্যাটি অ্যাসিড বলে। আবার কোনও কোনও ফ্যাটি অ্যাসিড অণুতে কার্বন পরমাণুগুলি বলয়ের (ring) আকারে বিন্যস্ত থাকে ; তাহাদের বলয়িত (cyclic) ফ্যাটি অ্যাসিড বলা হয়। ক্ষুদ্রাণু অথবা অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড ফ্যাটের অণুতে অধিক থাকিলে সেই ট্রাইগ্লিসেরাইডের গলনাঙ্ক (melting point) কম হয় ; এজন্যই উদ্ভিজ্জ তৈলের ট্রাই-

গ্লিসেরাইডের গলনাঙ্ক কম এবং উহা সাধারণ তাপমাত্রায় তরল থাকে। হাইড্রোজেন যোগ করিয়া অসংপৃক্তি দূর করিলে তরল উদ্ভিজ্জ তৈল কঠিন 'বনস্পতি'তে পরিণত হয়, কারণ বনস্পতির অণুতে সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের প্রাচুর্য থাকায় উহার গলনাঙ্ক অধিক। ট্রাইগ্লিসেরাইড জলবিশ্লিষ্ট হইলে

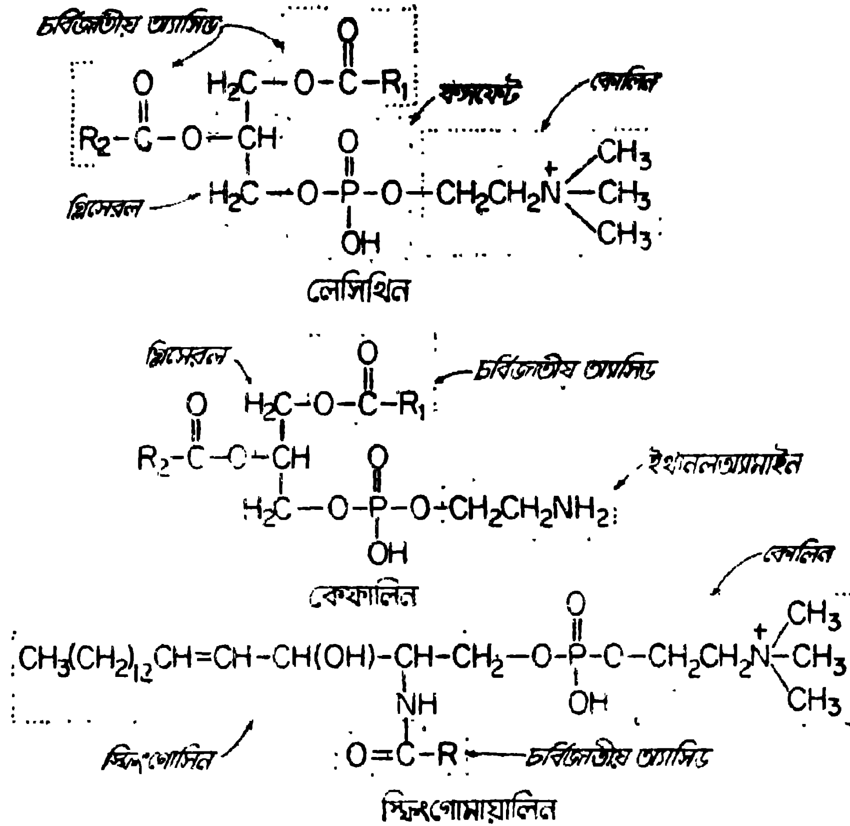


চিত্র 2.7. একটি ট্রাইগ্লিসেরাইড অণু।

একে একে ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি মুক্ত হইতে থাকে, ফলে ক্রমে ডাইগ্লিসেরাইড, মোনোগ্লিসেরাইড ইত্যাদি পদের মাধ্যমে পরিণামে তিন অণু ফ্যাটি অ্যাসিড ও এক অণু গ্লিসেরল উৎপন্ন হয়। ফ্যাটি অ্যাসিডের সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম প্রভৃতি ধাতুঘটিত লবণকে সাবান (soap) বলে; যথা, সোডিয়াম পামিটেট ও সোডিয়াম স্টিয়ারেট যথাক্রমে পামিটিক ও স্টিয়ারিক অ্যাসিডের সোডিয়াম-ঘটিত সাবান।

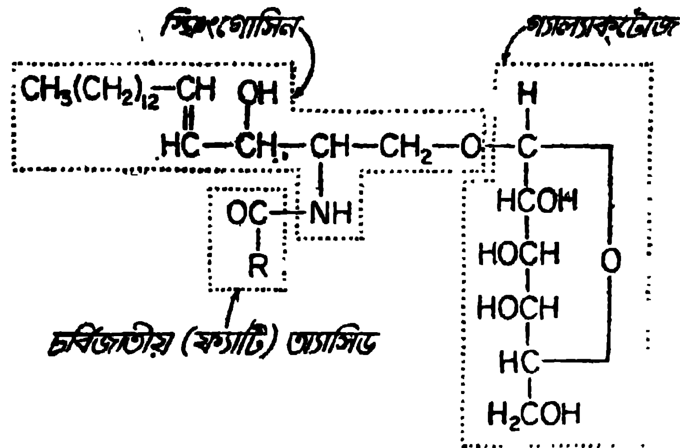
2. **ফসফোলিপিড:** ইহাদের অণুতে গ্লিসেরল বা অন্য কোনও অ্যালকোহল, ফ্যাটি অ্যাসিড এবং ফসফোরিক অ্যাসিড বর্গ বর্তমান; তাহা ছাড়া অধিকাংশ ফসফোলিপিডের অণুতে কোলিন, ইথানলঅ্যামাইন, সেরিন প্রভৃতি নাইট্রোজেন-ঘটিত পদার্থের একটি অণুও থাকে। ফসফোলিপিডের প্রধান শ্রেণীগুলি নিম্নরূপ: **(i) লেসিথিন**: ইহার অণুতে গ্লিসেরলের দুইটি হাইড্রক্সিল বর্গের সহিত দুইটি ফ্যাটি অ্যাসিড অণু এস্টার বন্ধনীর দ্বারা আবদ্ধ থাকে এবং গ্লিসেরলের অবশিষ্ট হাইড্রক্সিল বর্গটির সহিত একটি ফসফেট বর্গ ও তাহার সহিত কোলিন যুক্ত থাকে (চিত্র 2.8)। **(ii) কেফালিন**: ইহার অণু লেসিথিনের অনুরূপ, কিন্তু এক্ষেত্রে কোলিনের পরিবর্তে ইথানল-অ্যামাইন, সেরিন অথবা আইনোসিটলের (বি-বর্গীয় ভিটামিন) একটি অণু ফসফেট বর্গে যুক্ত থাকে। **(iii) স্ফিংগোমায়ালিন**: ইহার অণুতে স্ফিংগোসিন নামক একটি অসংপৃক্ত ও নাইট্রোজেন-ঘটিত অ্যালকোহলের অ্যামাইনো বর্গের সহিত একটি ফ্যাটি অ্যাসিড অণু পেপটাইড-সদৃশ বন্ধনী দিয়া আবদ্ধ থাকে; তাহা ছাড়া অ্যালকোহলটির একটি হাইড্রক্সিল বর্গের সহিত ফসফোরিক অ্যাসিড ও শেষোক্তের সহিত একটি কোলিন অণু যুক্ত থাকে। **(iv) প্লাজমালোজেন**: ইহার অণু কেফালিনের অনুরূপ, কিন্তু এক্ষেত্রে গ্লিসেরলের প্রথম

দুইটি হাইড্রক্সিল বর্গ যথাক্রমে এক অণু দীর্ঘাণু (long-chain) অ্যালকোহলের সহিত ইথার বন্ধনীর দ্বারা এবং এক অণু ফ্যাটি অ্যাসিডের সহিত এস্টার বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত থাকে।



চিত্র 2.8. কয়েক প্রকার ফসফোলিপিড। R, R_1, R_2 = চর্বিজাতীয় বা ফ্যাটি অ্যাসিড অণুর অবশিষ্টাংশ।

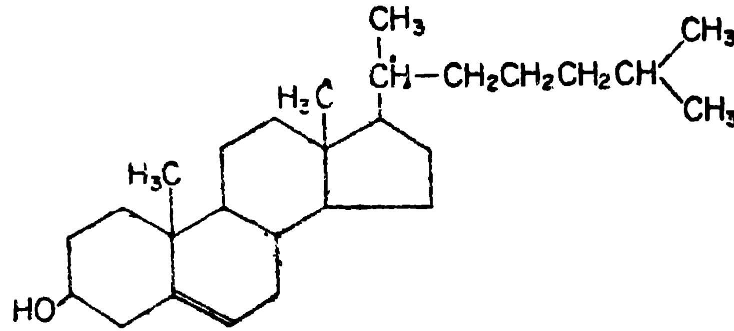
3. গ্লাইকোলিপিড: এই শ্রেণীর অন্তর্গত গ্যাল্যাক্টোলিপিড বা সেরিব্রোসাইডের প্রত্যেক অণুতে একটি ফ্যাটি অ্যাসিড স্ফিংগোসিনের অ্যামাইনো বর্গের সহিত পেপটাইড-সদৃশ বন্ধনীর দ্বারা এবং একটি গ্যাল্যাক্টোজ অণু স্ফিংগোসিনের অ্যালকোহল বর্গের সহিত গ্লাইকোসাইড বন্ধনীর দ্বারা আবদ্ধ থাকে (চিত্র 2.9)। অনেক ক্ষেত্রে উক্ত গ্যাল্যাক্টোজের হাইড্রক্সিল



চিত্র 2.9. সেরিব্রোসাইড।

বর্গে সালফিউরিক অ্যাসিড যুক্ত থাকে ; এরূপ গ্লাইকোলিপিডকে সাল্‌ফোলিপিড বলে। সেরিব্রোসাইডে সেরিব্রোনিক অ্যাসিড প্রভৃতি হাইড্রক্সি-ফ্যাটি অ্যাসিডের (চিত্র 2.6) প্রাচুর্য থাকে।

4. স্টেরয়েড : ইহারা হাইড্রোকার্বন-জাত বস্তু এবং ইহাদের অণুতে সাইক্লোপেন্টানোপারহাইড্রোফেনান্‌থ্রিন বলয় নামক একটি সতেরো কার্বন-বিশিষ্ট (C_{17}) জটিল আণবিক বলয় (ring) বর্তমান। যে সকল স্টেরয়েডের উপরি-উক্ত বলয়টির সপ্তদশ কার্বনের (C_{17}) সহিত কতিপয় কার্বনে গঠিত একটি শৃঙ্খল এবং তৃতীয় কার্বনের (C^3) সহিত একটি হাইড্রক্সিল বর্গ যুক্ত থাকে, কিন্তু অণুতে কোনও কার্বক্সিল বর্গ থাকে না, তাহাদের স্টেরল বলে।



চিত্র **2.10.** কোলেস্টেরল।

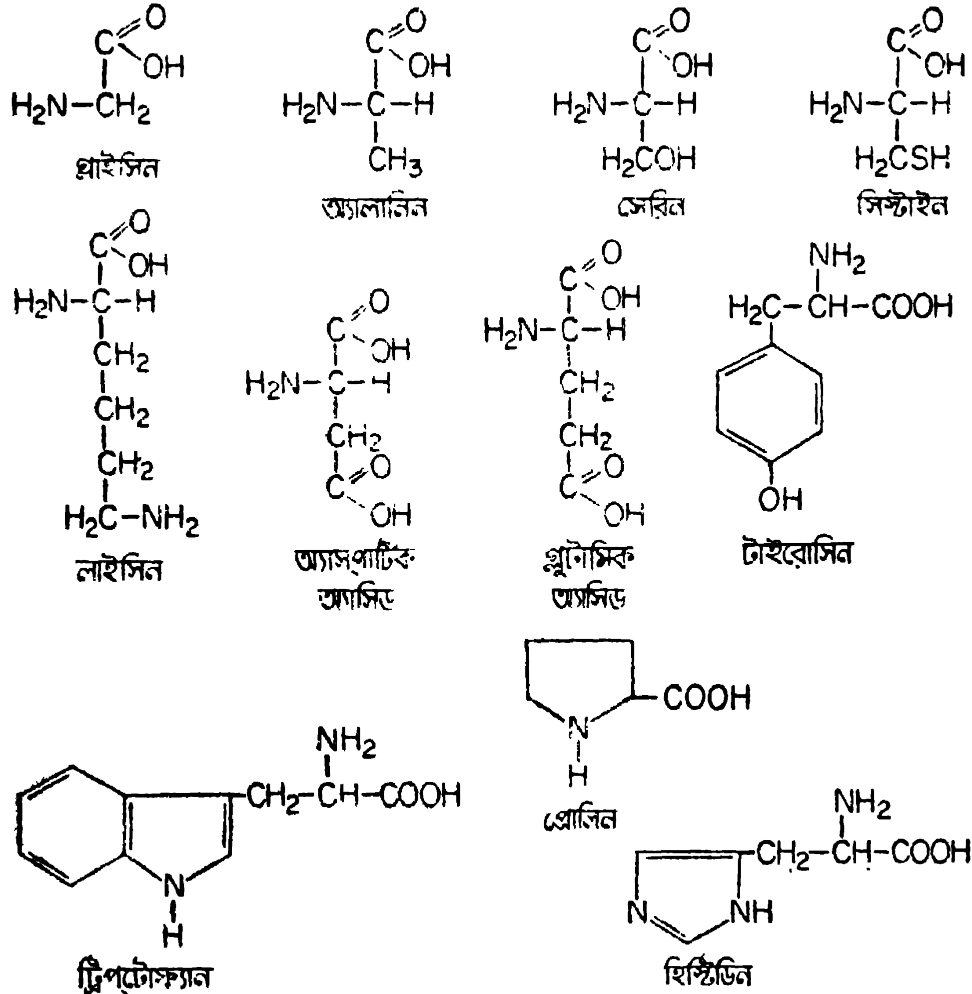
স্টেরলের C^3-সংশ্লিষ্ট হাইড্রক্সিল বর্গের সহিত এস্টার বন্ধনী দিয়া এক অণু ফ্যাটি অ্যাসিড যুক্ত হইলে স্টেরল এস্টার উৎপন্ন হয়। কোলেস্টেরল, কপ্রোস্ট্যানল, আর্গোস্টেরল প্রভৃতি স্টেরল এবং অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্সের স্টেরয়েড হর্মোনগুলি স্টেরয়েডের দৃষ্টান্ত (চিত্র 2.10)।

2.3 প্রোটিন

প্রোটিনের অণুতে কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন ব্যতীত নাইট্রোজেনও বর্তমান ; তাহা ছাড়া বহু প্রোটিন অণুতে গন্ধক, ফসফরাস প্রভৃতিও থাকে। অতিকায় প্রোটিন অণু বহু অ্যামাইনো অ্যাসিড অণুর মিলনে গঠিত। অ্যামাইনো অ্যাসিড বলিতে সেই সকল জৈব অ্যাসিডকে বুঝায়, যাহাদের অণুর কার্বন-কঙ্কাল বা কার্বন-শৃঙ্খলের অন্ততঃ একটি কার্বনের সহিত অ্যামাইনো বর্গ যুক্ত আছে (চিত্র 2.11)। অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি পেপ্‌টাইড (peptide) বন্ধনীর দ্বারা পরস্পর আবদ্ধ হইয়া প্রোটিন অণু গঠন করে—প্রত্যেক পেপ্‌টাইড বন্ধনী একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গকে

অপর একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গের সহিত যুক্ত রাখে (চিত্র 2.12)।

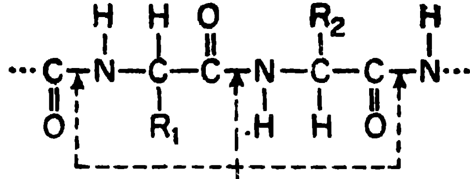
অ্যামাইনো অ্যাসিডের অণুতে কার্বক্সিল বর্গটি অম্লধর্মী (acidic), কিন্তু অ্যামাইনো বর্গটি ক্ষারধর্মী (basic)। উভয় প্রকার বর্গ সমান সংখ্যায়



চিত্র 2.11. কয়েকটি অ্যামাইনো অ্যাসিড।

থাকিলে অ্যামাইনো অ্যাসিডটি প্রশম (neutral) প্রকৃতির হইয়া থাকে ; যথা, অ্যালানিন, গ্লাইসিন, সিস্টাইন এবং ফিনাইলঅ্যালানিন। অম্লধর্মী (acidic) অ্যামাইনো অ্যাসিডের অণুতে দুইটি কার্বক্সিল ও একটি অ্যামাইনো বর্গ থাকে ; যথা, গ্লুটামিক ও অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড। ক্ষারধর্মী (basic) অ্যামাইনো অ্যাসিডে দুইটি অ্যামাইনো ও একটি কার্বক্সিল বর্গ বর্তমান ; যথা, লাইসিন ও আর্জিনিন। অণুতে কার্বন পরমাণুগুলির বিন্যাসের উপরে নির্ভর করিয়া অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিকে নানা শ্রেণীতে ভাগ করা যায় :

(*i*) অ্যালিফ্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির অণুতে কার্বন-কঙ্কালটি অর্থাৎ কার্বন পরমাণুতে গঠিত শৃঙ্খলটি মুক্ত শৃঙ্খলের আকারে বর্তমান (যথা, অ্যালানিন, গ্লাইসিন, সেরিন, লাইসিন, আর্জিনিন, গ্লুটামিক অ্যাসিড প্রভৃতি) ; (*ii*) ফেনলীয় (phenolic) অ্যামাইনো অ্যাসিডের অণুতে ফেনল বলয় থাকে (যথা, টাইরোসিন) ; (*iii*) বিসমবলয়িত (heterocyclic) অ্যামাইনো অ্যাসিডের অণুতে কার্বন ও কার্বনেতর পরমাণুর সমন্বয়ে গঠিত ইমিডাজোল, ইন্‌ডোল প্রভৃতি বলয় বর্তমান (যথা, প্রোলিন, হিস্টিডিন ও ট্রিপ্‌টোফ্যান)।



চিত্র 2.12. পেপ্‌টাইড বন্ধনী দ্বারা একাধিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংযুক্তি।

অণুর আয়তন, দ্রাব্যতা (solubility), তঞ্চন (coagulation) প্রভৃতি গুণাগুণ অনুসারে প্রোটিনকে নানা শ্রেণীতে ভাগ করা যায়।

1. সরল প্রোটিন : সরল (simple) প্রোটিনের অণুতে অ্যামাইনো অ্যাসিড ব্যতীত অন্য কিছুই থাকে না। ইহাদের কয়েকটি উপশ্রেণী আছে : **(i) প্রোট্যামিন :** ইহারা সহজদ্রাব্য ও সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রাণুবিশিষ্ট স্বাভাবিক (native) প্রোটিন। অণুতে ক্ষারধর্মী অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির আধিক্য থাকায় ইহারা ক্ষারধর্মী প্রোটিন। শুক্রাণু ও শুক্রাশয়ে এজাতীয় নানা প্রোটিন বর্তমান। **(ii) হিস্টোন :** ইহারাও ক্ষুদ্রাণুবিশিষ্ট, ক্ষারধর্মী ও সহজদ্রাব্য, কিন্তু প্রোট্যামিন অপেক্ষা ইহাদের অণুগুলি বৃহত্তর। **(iii) অ্যালবুমিন :** ইহাদের অণু আরও বৃহত্তর, কিন্তু তবুও জলদ্রাব্য। ডিমের শাদা অংশে, রক্তরসে ও দুধে এজাতীয় প্রোটিন বর্তমান। অ্যালবুমিন উত্তাপে তঞ্চিত (coagulated) হয়। **(iv) গ্লোবিউলিন :** ইহাদের অণু অ্যালবুমিন অপেক্ষাও বৃহত্তর এবং জলে অদ্রাব্য—লঘু লবণজলে ইহারা দ্রবীভূত হয় এবং উত্তাপে তঞ্চিত হয়। রক্তরস, দুধ ও ডিমে এজাতীয় প্রোটিন আছে। **(v) গ্লুটেলিন :** ইহারা লঘু অ্যাসিড বা ক্ষারে দ্রবীভূত হয় এবং উত্তাপে তঞ্চিত হয়। নানা প্রকার দানাশস্যে ইহারা বর্তমান। **(vi) প্রোল্যামিন :** ইহারা 50-80% অ্যালকোহলে দ্রবীভূত হয় এবং বিভিন্ন দানাশস্যে থাকে। **(vii) স্‌ক্লেরো-প্রোটিন :** ইহারা সহজে দ্রবীভূত হয় না এবং সাধারণতঃ প্রাণিদেহে নানা-প্রকার অদ্রাব্য প্রোটিনঘটিত তন্তু (fibre) গঠন করে ; যথা, রেশম, চুলের কেরাটিন এবং যোগকলার কোলাজেন ও ইলাস্টিন তন্তু।

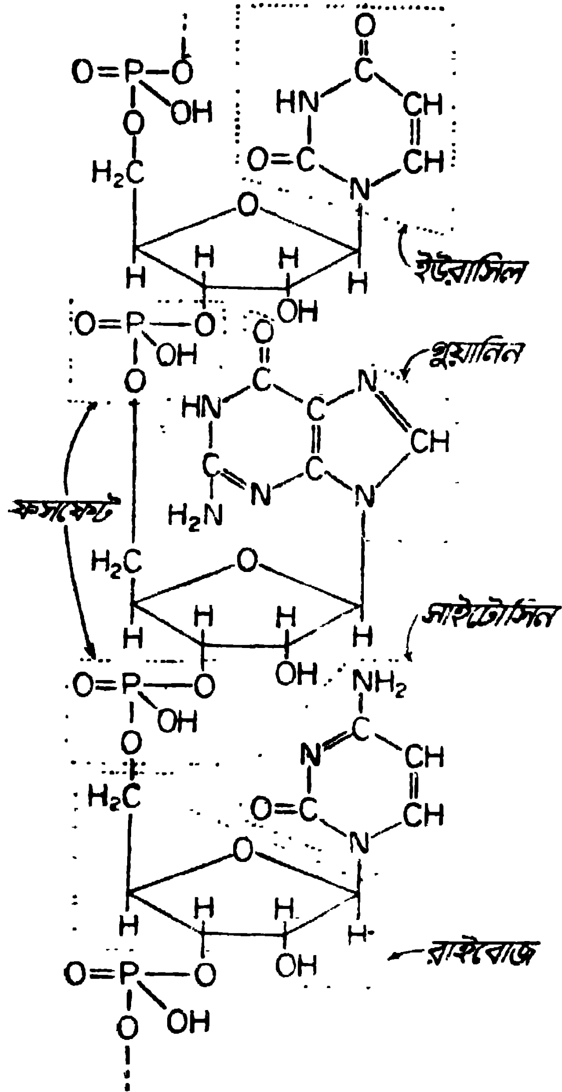
2. **যৌগ প্রোটিন :** ইহাদের অণু সরল প্রোটিন এবং প্রোটিনেতর অন্য কোনও বস্তুর মিলনে গঠিত। যৌগ (conjugated) প্রোটিনের অণুতে প্রোটিনেতর বর্গটিকে প্রস্থেটিক বর্গ (prosthetic group) বলে এবং তাহার প্রকৃতি অনুযায়ী এই শ্রেণীর প্রোটিনকে নানা উপশ্রেণীতে ভাগ করা যায়। (i) **নিউক্লিওপ্রোটিন :** নিউক্লিইক অ্যাসিড (ডি.এন.এ. এবং আর.এন.এ.) এবং প্রোটিনের মিলনে উৎপন্ন যৌগ। (ii) **মিউকোপ্রোটিন ও গ্লাইকোপ্রোটিন** : বিভিন্ন অলিগোস্যাকারাইড ও পলিস্যাকারাইডের সহিত প্রোটিনের যৌগ (যথা, লালার শ্লেষ্মাপ্রোটিন)। (iii) **লাইপোপ্রোটিন** : প্রোটিন ও লিপিডের যৌগ (যথা, রক্তরসের লাইপোপ্রোটিন)। (iv) **ফসফোপ্রোটিন :** প্রোটিন ও ফসফেট বর্গের যৌগ (যথা, দুধের কেসিন)। (v) **মেটালোপ্রোটিন** : ধাতব আয়ন ও প্রোটিনের যৌগ (যথা, দস্তা-ঘটিত এনজাইম কার্বনিক অ্যানহাইড্রেজ)। (vi) **ক্রোমোপ্রোটিন** : প্রোটিন ও কোনও রঙ্গকের (pigment) মিলনে উৎপন্ন যৌগ (যথা, হিমোগ্লোবিন ও রডপ্‌সিন)।

3. **পরিবর্তিত প্রোটিন :** স্বাভাবিক (native) যৌগ প্রোটিন ও সরল প্রোটিন অণু জলবিশ্লেষ (hydrolysis), উত্তাপ, রাসায়নিকের ক্রিয়া, বিকিরণ প্রভৃতির দ্বারা পরিবর্তিত (derived) প্রোটিন অণুতে পরিণত হইতে পারে। উত্তাপে তঞ্চিত (coagulated) অ্যালবুমিন বা গ্লোবিউলিন এবং প্রোটিনের জলবিশ্লেষের ফলে উৎপন্ন প্রোটিওস, পেপ্‌টোন, ট্রাইপেপ্‌টাইড ও ডাইপেপ্‌টাইড পরিবর্তিত প্রোটিনের দৃষ্টান্ত। ডাইপেপ্‌টাইড ক্ষুদ্রতম পেপ্‌টাইড—ইহার জলবিশ্লেষে দুই অণু অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। কিন্তু মুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রোটিন নহে।

2.4 নিউক্লিইক অ্যাসিড

নিউক্লিইক অ্যাসিড প্রধানতঃ দুই প্রকার : ডি.এন.এ. (DNA or deoxyribonucleic acid) এবং আর.এন.এ. (RNA or ribonucleic acid)। ইহাদের অণুতে যথাক্রমে ডিঅক্সিরাইবোজ এবং রাইবোজ নামক পেন্টোজ শর্করা থাকে। তাহা ছাড়া নিউক্লিইক অ্যাসিড অণুতে ফসফোরিক অ্যাসিড, পিউরিন-জাতীয় পদার্থ (অ্যাডেনিন, গুয়ানিন প্রভৃতি) এবং পিরিমিডিন-জাতীয় পদার্থ (ইউরাসিল, থাইমিন, সাইটোসিন প্রভৃতি) বর্তমান। এক অণু পিউরিন বা পিরিমিডিন এবং এক অণু পেন্টোজ মিলিয়া নিউক্লিওসাইড অণু গঠিত হয়। নিউক্লিওসাইডের পেন্টোজ বর্গের সহিত একটি

ফসফেট বর্গের মিলনে নিউক্লিওটাইড গঠিত। বহু নিউক্লিওটাইড অণু পরস্পর ফসফোডাইএস্টার (phosphodiester) বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত হইয়া নিউক্লিইক অ্যাসিডের দীর্ঘ ও অতিকায় অণুগুলি গঠন করে (চিত্র 2.13)। ডি.এন.এ. অণুতে ইউরাসিল নামক পিরিমিডিনটি থাকে না, পক্ষান্তরে অধিকাংশ আর.এন.এ. অণুতে থাইমিন নাই। ডি.এন.এ. প্রধানতঃ নিউক্লিয়াসে এবং আর.এন.এ. নিউক্লিওলাস ও সাইটোপ্লাজমে বর্তমান। তাহা ছাড়া মাইটোকন্ড্রিয়া এবং ক্লোরোপ্লাস্টেও ডি.এন.এ. এবং আর.এন.এ. থাকে। এণ্ডোপ্লাজমিক রেটিকুলামের নলগুলির বহিঃপৃষ্ঠে রাইবোসোম্যাল আর.এন.এ. (rRNA) নামক একশ্রেণীর আর.এন.এ.-তে গঠিত রাইবোসোম কণা সংলগ্ন থাকে। আর.এন.এ.-র অপর দুই শ্রেণীর নাম যথাক্রমে ট্রান্সফার আর.এন.এ. (tRNA) ও মেসেঞ্জার আর.এন.এ. (mRNA)।



চিত্র 2.13. রাইবোনিউক্লিইক অ্যাসিড বা আর.এন.এ. অণুর একাংশ।

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

মুখ

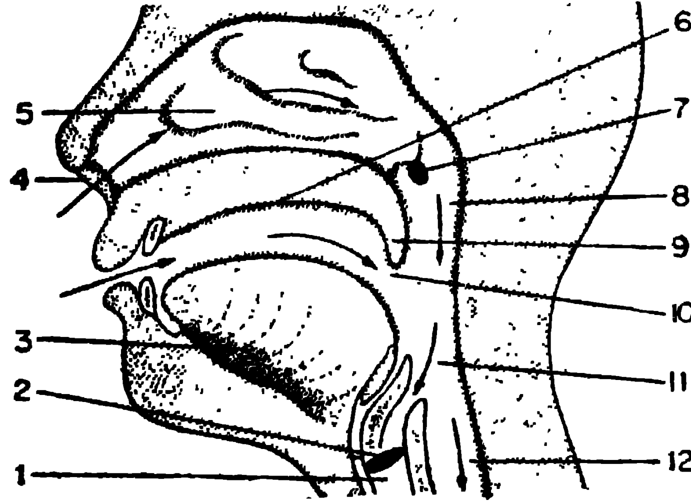
3.1 মুখবিবর

মুখবিবর পৌষ্টিক নালীর প্রথম কক্ষ। ইহার ঊর্ধ্বপ্রাচীর তালুর অস্থি ও পেশীর দ্বারা, সম্মুখের প্রাচীর ওষ্ঠাধরের পেশীগুলি দিয়া এবং পার্শ্বপ্রাচীর গণ্ডের পেশীর দ্বারা গঠিত। পেশী ও কোমল কলায় (tissue) গঠিত নিম্নতলে জিহ্বা সংলগ্ন থাকে ; পিছনের দিকে গলবিলের (pharynx) সহিত মুখবিবর প্রত্যক্ষভাবে যুক্ত। মুখবিবরের অভ্যন্তরভাগ শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (mucous membrane) দিয়া আবৃত ; ইহার যোগকলায় (connective tissue) গঠিত জমি বা ধাত্রে (matrix) বহু শ্লেষ্মাগ্রন্থি (mucous glands), রক্তবাহ (blood vessels), চার্ম গ্রাহক (cutaneous receptors) প্রভৃতি বর্তমান। শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর মুখবিবরের দিকের পৃষ্ঠটি (luminal surface) স্তরিত আবরক কলায় (stratified epithelium) আবৃত ; শ্লেষ্মাগ্রন্থিগুলির প্রণালী ঐ স্তর ভেদ করিয়া মুখবিবরে পড়িয়াছে। তালুর অগ্রভাগ প্রধানতঃ অস্থিতে গঠিত কঠিন তালু (hard palate) এবং পশ্চাদ্ভাগ পেশীবহুল কোমল তালু (soft palate) ; কোমল তালুর পিছনের প্রান্তের মধ্যভাগ হইতে পেশীতে গঠিত আলিজিহ্বা (uvula) মুখবিবরে ঝুলিয়া থাকে। তালুর বিবরমুখী পৃষ্ঠও স্তরিত আবরক কলায় আবৃত শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী দিয়া গঠিত।

3.2 গলবিল (pharynx)

মুখবিবরের পিছন হইতে গ্রাসনালীর (oesophagus) সূচনা পর্যন্ত পৌষ্টিক নালীর প্রশস্ত ফানেলের মত এবং প্রায় 10 সেণ্টিমিটার দীর্ঘ কক্ষটিকে গলবিল বলে। কোমল তালুর উপরের দিকে ও নাসিকার পিছনের দিকে গলবিলের অংশটিকে নাসা-গলবিল (nasopharynx) বলে ; নাসারন্ধ্র হইতে আগত নাসাবিবর (nasal cavity) দুইটির পিছনের মুখ এবং দুই দিকের মধ্যকর্ণ (middle ear) হইতে আগত ইউস্টেচিয়ান (eustachian) নল-দুইটি নাসা-গলবিলে উন্মুক্ত হয় (চিত্র 3.1)। স্বরযন্ত্রের (larynx) পিছনে গলবিলের স্বর-গলবিল (laryngo-pharynx) অংশের প্রান্ত হইতে গ্রাসনালী আরম্ভ

হইয়াছে ; স্বর-গলবিলের বিবর একদিকে গ্রাসনালীর বিবরের সহিত এবং অন্যদিকে স্বরযন্ত্রের মধ্য দিয়া শ্বাসনালীর (trachea) বিবরের সহিত যুক্ত। মুখবিবরের নিকটে গলবিলের সম্মুখভাগকে মুখ-গলবিল (oro - pharynx) বলে ; ইহা কোমল তালুর তলদেশ হইতে দ্বিতীয় গ্রীবাদেশীয় কশেরুকার (second cervical vertebra) তল পর্যন্ত বিস্তৃত।



চিত্র 3.1. মুখবিবর ও গলবিল। 1-শ্বাসনালী, 2-স্বরযন্ত্র, 3-জিহ্বা, 4-নাসারন্ধ্র, 5-নাসাবিবর ; 6-কঠিন তালু, 7-ইউস্টেচিয়ান নালীমুখ, 8-নাসা-গলবিল, 9-কোমল তালু ; 10-মুখ-গলবিল ; 11-স্বর-গলবিল ; 12-গ্রাসনালী।

গলবিলের গাত্রে বাহির হইতে ভিতর দিকে পরপর সজ্জিত কলাস্তরগুলি নিম্নরূপ।

1. **পেশীস্তর (muscle layer) :** এই স্তরটি সরেখ (striated) বা ঐচ্ছিক পেশীতন্তুতে গঠিত। মুখ-গলবিল ও নাসা-গলবিলের গাত্রে এই পেশীতন্তুগুলির সংকোচনের ফলে ঐ অংশগুলি সঞ্চালিত হয় এবং ইচ্ছামত খাদ্য গিলিয়া ফেলা যায়।

2. **তান্তব স্তর (fibrous layer) :** ভিতরের দিকে পরবর্তী স্তরটি প্রধানতঃ যোগকলার কোষ এবং অ্যারিওলার, স্থিতিস্থাপক (elastic) প্রভৃতি নানাপ্রকার যোগকলা তন্তু দ্বারা গঠিত।

3. **শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (mucous membrane) :** বিবর-সংলগ্ন এই স্তরটির যোগকলায় গঠিত জমিতে বহু শ্লেষ্মাগ্রন্থি (mucous gland) থাকে। শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর বিবরমুখী পৃষ্ঠ (luminal surface) নাসা-গলবিলে সিলিয়াযুক্ত (ciliated) আবরক কলা দিয়া এবং অন্যান্য অংশে সিলিয়াবিহীন ও স্তরিত শল্কাকার (stratified squamous) আবরক কলা দিয়া আবৃত। মুখ-গলবিল ও স্বর-গলবিলের গাত্র স্তরিত আবরক কলায় আচ্ছাদিত থাকায় খাদ্যের ঘর্ষণে ঐ অংশের কোমলতর আভ্যন্তরীণ কলাগুলির ক্ষতি হয় না।

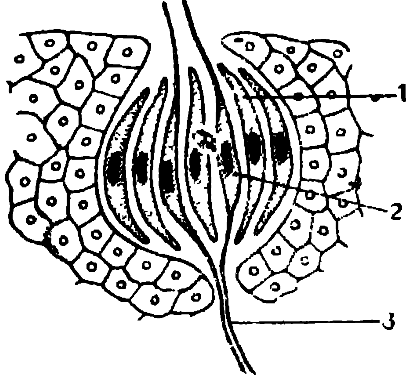
3.3 জিহ্বা

পেশীবহুল জিহ্বার তলদেশ মুখবিবরের নিম্নতলের সহিত শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর একটি দীর্ঘ ভাঁজ দিয়া আংশিকভাবে যুক্ত থাকে। জিহ্বার মূলটি হাইয়ইড অস্থির সহিত যুক্ত। প্রধানতঃ দুই প্রকার কলা দিয়া জিহ্বা গঠিত (চিত্র 3.2)।

1. **পেশীস্তর :** জিহ্বার অভ্যন্তরভাগে গুচ্ছ গুচ্ছ ঐচ্ছিক বা সরেখ পেশীতন্তু নানাদিকে অর্থাৎ জিহ্বার দৈর্ঘ্য বরাবর, প্রস্থ বরাবর এবং উপরপৃষ্ঠ হইতে নিম্নাভিমুখে বিন্যস্ত হইয়া থাকে। ইহাদের ফাঁকে ফাঁকে স্থিতিস্থাপক (elastic) তন্তু, শ্লেষ্মাগ্রন্থি, রক্তবাহ ও নার্ভতন্তু বর্তমান। পেশীস্তর ও শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর সংযোগস্থলের নিকটে বহু জলীয় রসক্ষারক, নলাকার ও অনিয়মিত শাখাপ্রশাখাযুক্ত (racemose) এব্‌নার-গ্রন্থি (Ebner glands) দেখা যায়।

2. **শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (mucous membrane) :** জিহ্বার বহিঃপৃষ্ঠে শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী পেশীস্তরকে আবৃত রাখে। জিহ্বার পশ্চাদ্ভাগে ইহার যোগ-কলায় (connective tissue) গঠিত জমিতে বহু লসিকাগুটিকা (lymph nodules) থাকে। ঝিল্লীর বহিঃপৃষ্ঠ স্তরিত শল্কাকার আবরক কলায় (stratified squamous epithelium) আবৃত। ঝিল্লী ভেদ করিয়া এব্‌নার ও শ্লেষ্মা গ্রন্থি-গুলির প্রণালী মুখবিবরে পড়ে। শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর ঊর্ধ্বপৃষ্ঠে প্রায় 8-10 হাজার ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র উন্নত অংশ বা **জিহ্বা-পিড়কা** (lingual papilla) বর্তমান। ইহারাও স্তরিত শল্কাকার আবরক কলায় আবৃত এবং আকারভেদে তিন প্রকার হয় : (*i*) জিহ্বার সম্মুখভাগের অধিকাংশে বহু ক্ষুদ্র মোচাকৃতি **ফিলিফর্ম পিড়কা,** (*ii*) জিহ্বাগ্রে ও পার্শ্বপ্রান্তে কতকগুলি বৃহত্তর ও ছত্রাকাকার **ফাংগিফর্ম পিড়কা** এবং (*iii*) জিহ্বার পশ্চাদ্ভাগে কয়েকটি বিশাল ছাতার মত আকৃতির এবং সংকীর্ণ খাদে বেষ্টিত **ভ্যালেট পিড়কা**। এব্‌নার-গ্রন্থির প্রণালীগুলি ভ্যালেট পিড়কার বেষ্টনকারী খাদেই পড়ে। ফাংগিফর্ম ও ভ্যালেট পিড়কার পার্শ্ব-প্রাচীরের আবরক কলায় কয়েকটি করিয়া ডিম্বাকার (70 মাইক্রোমিটার × 50 মাইক্রোমিটার) স্বাদগ্রাহী উপাঙ্গ বা **স্বাদকোরক** (taste-buds) থাকে (চিত্র 3.3)। প্রত্যেক স্বাদকোরকের সংকীর্ণ প্রণালীর মত মুখটি পিড়কার আবরক কোষস্তরের মধ্য দিয়া মুখবিবরের সহিত যুক্ত। স্বাদকোরকে কতকগুলি দীর্ঘ, বক্রাকার, চ্যাপটা ও কাটা তরমুজের ফালির মত দেখিতে ধারক কোষ (supporting cell) ও তাহাদের ফাঁকে ফাঁকে 5-15টি স্বাদ-কোষ (taste cell) সজ্জিত থাকে। স্বাদকোষগুলি দীর্ঘ, ক্ষীণদেহী, দ্বিবাহু

(bipolar) ও পটলাকার। কোষের প্রশস্ততর কেন্দ্রীয় অংশে নিউক্লিয়াস থাকে; বিবরমুখী বাহুটি স্বাদকোরকের প্রণালীমুখের কাছে গিয়াছে এবং তাহার শেষ প্রান্তে কয়েকটি অতি ক্ষুদ্র সাইটোপ্লাজমে-গঠিত কেশের মত অংশ আছে। স্বাদকোষের অন্তর্মুখী বাহুটি স্বাদকোরকের গভীরে শেষ হইয়াছে। সপ্তম ও নবম করোটিক নার্ভের স্বাদগ্রাহী (gustatory) নার্ভ-তন্তুগুলি স্বাদকোরকে প্রবেশ করিয়া স্বাদকোষগুলিকে ঘনিষ্ঠভাবে বেষ্টন করিয়া থাকে।



চিত্র 3.3. স্বাদকোরকের আণুবীক্ষণিক গঠন। 1-ধারক কোষ, 2-স্বাদকোষ, 3-নার্ভতন্তু।

মস্তিষ্ক হইতে হাইপোগ্লসাল নার্ভ দিয়া আগত নার্ভীয় বিভবপ্রবাহের (nerve impulse) প্রভাবে জিহ্বার পেশীতন্তুগুলির সঞ্চালন ঘটাইয়া চর্বণ, গলাধঃকরণ ও বাচন (speech) সুসম্পন্ন করা হয়। তাহা ছাড়া লালায় দ্রবীভূত খাদ্যবস্তু স্বাদকোরকের প্রণালীমুখ দিয়া উহার ভিতরে প্রবেশ করিয়া স্বাদকোষ-গুলিকে উদ্দীপিত (stimulated) করিলে সেগুলি হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ সপ্তম ও নবম করোটিক নার্ভ বাহিয়া মস্তিষ্কের স্বাদকেন্দ্রে গিয়া স্বাদের অনুভূতি জাগায়।

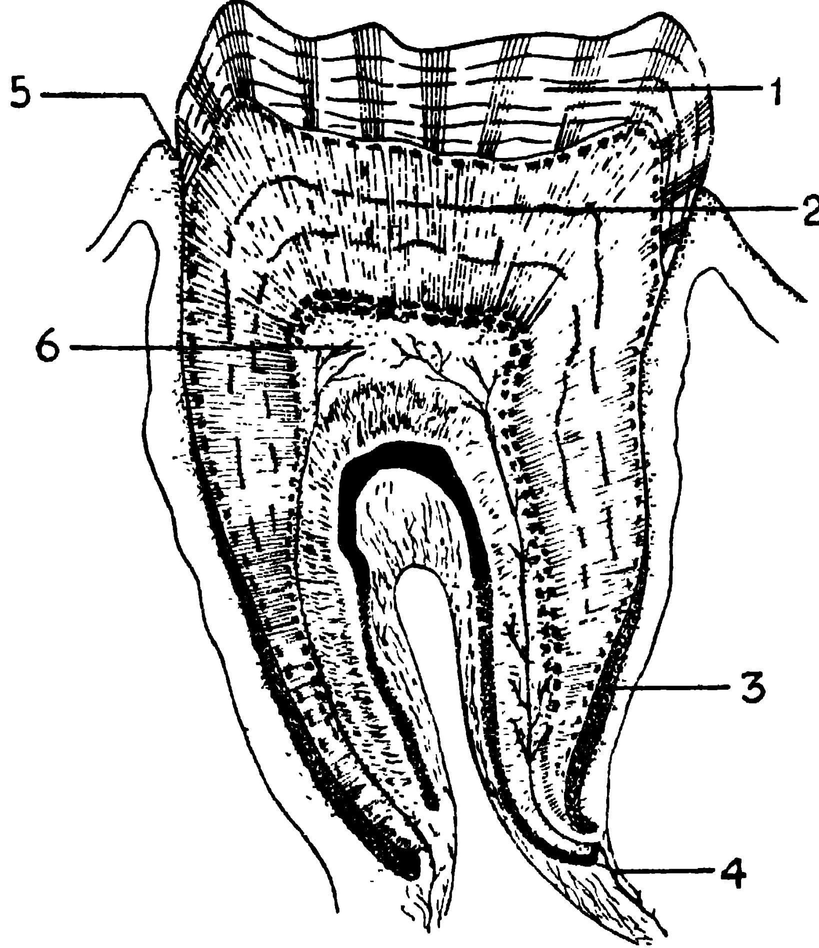
3.4 দন্ত

প্রাপ্তবয়স্ক মানুষের প্রত্যেক চোয়ালের অস্থির মধ্যে পৃথক পৃথক দন্তকোটরে (tooth socket) মোট 16টি দন্ত থাকে। প্রত্যেক চোয়ালের প্রতি অর্ধে সম্মুখ হইতে পশ্চাতে পরপর দুইটি কৃন্তক (incisor), একটি ছেদক বা রদনক (canine), দুইটি অগ্রপেষক (premolar) এবং তিনটি পেষক (molar), মোট আটটি দন্ত সজ্জিত আছে।

দন্তের যে অংশটি মাড়ির বাহিরে থাকে, তাহা এনামেল নামক শুভ্র, কোষবিহীন ও অত্যন্ত কঠিন পদার্থের স্তর দিয়া আবৃত (চিত্র 3.4)। কতক-গুলি পরস্পর-সমান্তরাল, ষড়কোণী, দীর্ঘ ও পাতলা দণ্ড বা প্রিজ্‌ম্ অদ্রাব্য

চিত্র 3.2. জিহ্বার আণুবীক্ষণিক গঠন (সম্মুখের পৃষ্ঠায়)। 1-ভ্যালেট পিড়কা, 2-ফাংগিফর্ম পিড়কা; 3-শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী; 4-ঐচ্ছিক পেশী; 5-শ্লেষ্মাগ্রন্থি; 6-চর্বিকোষ, 7-ফিলিফর্ম পিড়কা; 8-স্তরিত আবরক কলা; 9-এবনার গ্রন্থি।

তান্তব প্রোটিনের সাহায্যে পাশাপাশি যুক্ত হইয়া এনামেল স্তরটি গঠন করে। এনামেলের শতকরা মাত্র 0.5 ভাগ জৈব উপাদান, শতকরা 4 ভাগ জল এবং শতকরা প্রায় 95 ভাগ অজৈব লবণ। অজৈব লবণের মধ্যে হাইড্রক্সিঅ্যাপাটাইট নামক ক্যালসিয়াম- এবং ফসফরাস-প্রধান যৌগই মুখ্য; কঠিন পদার্থের শতকরা প্রায় 37 ভাগই ক্যালসিয়াম। জৈব উপাদানের মধ্যে অ্যামেলোজেনিন এবং



চিত্র 3.4. দন্তের আণুবীক্ষণিক গঠন। 1-এনামেল; 2-দন্তাস্থি, 3-দন্তযোজক, 4-রক্তবাহ; 5-দন্তকোটর, 6-দন্তমজ্জা।

কেরাটিন-বর্গীয় প্রোটিন, এই দুই প্রকার প্রোটিনই প্রধান। এনামেলের ভিতরের স্তরটির নাম দন্তাস্থি (dentine)। ইহার কোলাজেন তন্তুযুক্ত জমিতে হাইড্রক্সি-অ্যাপাটাইট লবণ অবক্ষেপের (deposit) আকারে বর্তমান; দন্তাস্থিতে হ্যাভার্সিয়ান তন্ত্রের (haversian system) অস্তিত্ব নাই, কিন্তু বহু সূক্ষ্ম সর্পিল দন্তাস্থি-প্রণালিকা (dentinal tubule) ছড়াইয়া আছে। দন্তাস্থিতে শতকরা প্রায় 5 ভাগ জল, 20 ভাগ জৈব পদার্থ এবং 75 ভাগ অজৈব লবণ বর্তমান;

জৈব উপাদানের মধ্যে কোলাজেন-জাতীয় প্রোটিন এবং অজৈব লবণের মধ্যে হাইড্রক্সিঅ্যাপাটাইট যৌগই প্রধান। দন্তাস্থি দিয়া বেষ্টিত দন্তমজ্জা-গহ্বরটি (pulp-cavity) দন্তের কেন্দ্রীয় অংশে অবস্থিত। এই গহ্বরে দন্ত-মজ্জা (dental pulp) নামক কোমল কোলাজেন-প্রধান তান্তব কলা বর্তমান। দন্ত-মজ্জার বহিঃস্তরে অর্থাৎ উহার সহিত দন্তাস্থির সংযোগস্থলে একসারি বাহুবহুল দীর্ঘাকার কোষ সজ্জিত থাকে ; এই দন্তকোষগুলির (odontoblast) দীর্ঘ ও শীর্ণ বাহু দন্তাস্থি-প্রণালিকাগুলির মধ্যে ন্যস্ত থাকে। দন্তমজ্জার জমিতে কোলাজেন তন্তুর ফাঁকে ফাঁকে কতকগুলি বাহুবহুল কোষ এবং দন্তমূল দিয়া প্রবিষ্ট রক্তবাহ ও নার্ভতন্তু ছড়াইয়া থাকে। মাড়ির মধ্যে দন্তের এক বা একাধিক মূল দন্তকোটরে সংলগ্ন থাকে। মূলে কোনও এনামেল থাকে না ; এখানে দন্তাস্থি সরাসরি সিমেণ্টাম বা দন্তযোজক (cementum) নামক স্তর দিয়া আবৃত থাকে। সিমেণ্টামের কোলাজেন তন্তু-প্রধান জমিতে হাইড্রক্সি-অ্যাপাটাইটের অবক্ষেপ দেখা যায়। গুচ্ছ গুচ্ছ কোলাজেন তন্তু সিমেণ্টাম ও দন্তকোটরের অস্থিকে দৃঢ়ভাবে পরস্পর বাঁধিয়া রাখে।

3.5 চর্বণ (mastication)

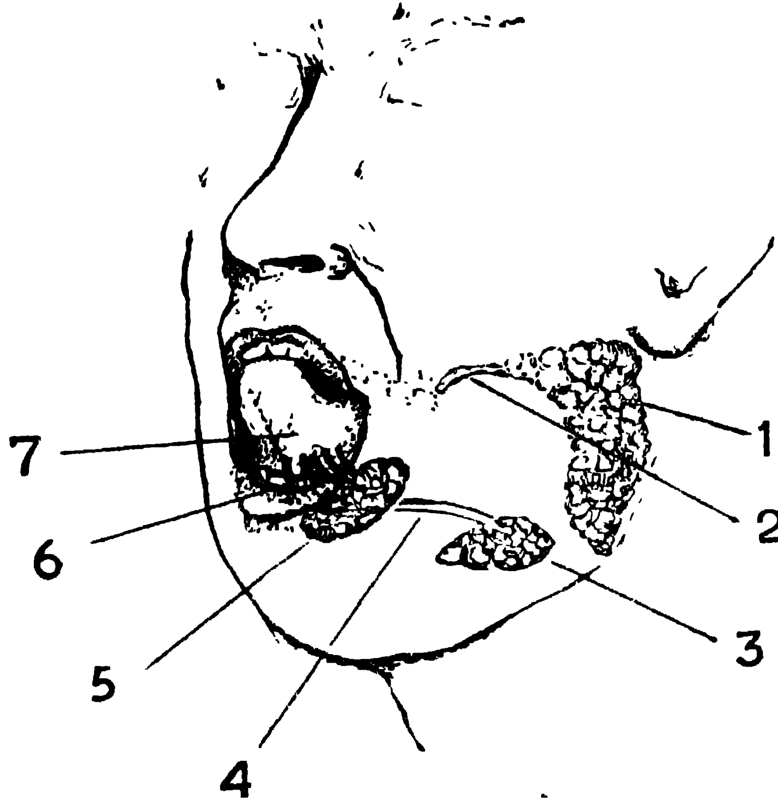
মস্তিষ্কের ইচ্ছাধীন ক্রিয়ায় জিহ্বা ও নিচের চোয়াল সঞ্চালন করিয়া খাদ্য চর্বণ করা হয়। তাহা ছাড়া খাদ্যের সংস্পর্শে মুখবিবরের গ্রাহকগুলির (receptors) উদ্দীপনা ঘটিয়া প্রতিবর্তের (reflex) মাধ্যমেও খাদ্য চর্বিত হইতে পারে। চর্বণের সময়ে হাইপোগ্লসাল বা দ্বাদশ করোটিক নার্ভ-বাহিত বিভব-প্রবাহের (nerve impulse) প্রভাবে জিহ্বা সঞ্চালনের ফলে খাদ্য দন্তের নিকটে আসে এবং প্রধানতঃ পঞ্চম করোটিক নার্ভ দিয়া আগত বিভবপ্রবাহের প্রভাবে ম্যাসেটর, বাক্সিনেটর, টেরিগয়েড, টেম্পোরাল প্রভৃতি সরেখ (striated) পেশীর সংকোচনের ফলে নিচের চোয়াল সঞ্চালিত হইয়া ঐ খাদ্য চর্বিত হয়। ইহার ফলে (*a*) খাদ্যের বৃহৎ খণ্ডগুলি কৃন্তক ও ছেদক দন্তের দ্বারা কর্তিত এবং পেষক ও অগ্রপেষক দন্তের দ্বারা পিষ্ট হইয়া যাওয়ায় গলাধঃকরণ ও পরিপাক সুসাধ্য হয়, (*b*) লালার সহিত মিশিয়া খাদ্য সিক্ত, কোমল ও পিচ্ছিল হওয়ায় গিলিতে সুবিধা হয়, (*c*) লালার টায়ালিন খাদ্যের সহিত মিশিয়া তাহার ক্রিয়া আরম্ভ করে এবং (*d*) মুখবিবর ও গলবিলের নানা অংশের গ্রাহকগুলি খাদ্যের স্পর্শে উদ্দীপিত হওয়ায় গলাধঃকরণ ও বিভিন্ন পাচকরসের ক্ষরণের জন্য প্রতিবর্ত ক্রিয়ার উদ্রেক ঘটে।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

লালা

4.1 লালাগ্রন্থির অবস্থান (locations of salivary glands)

লালাগ্রন্থি সংখ্যায় তিনজোড়া— মুখমণ্ডলের উভয় পাশে, কানের সামনে ও নিচের চোয়ালের উপরের কোণে একজোড়া প্যারটিড গ্রন্থি, স্টার্নোম্যাস্টয়েড পেশীর সামনে ও নিচের চোয়ালের ভিতর দিকে এক জোড়া সাবম্যান্ডিবুলার (সাবম্যাক্সিলারি) গ্রন্থি এবং জিহ্বার তলায় মুখবিবরের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর



চিত্র 4.1. লালাগ্রন্থিগুলির অবস্থান। 1-প্যারটিড গ্রন্থি, 2-প্যারটিডের প্রণালী; 3-সাবম্যান্ডিবুলার গ্রন্থি; 4-সাবম্যান্ডিবুলারের প্রণালী, 5-সাবলিংগুয়াল গ্রন্থি; 6-সাবলিংগুয়ালের প্রণালীগুলি, 7-জিহ্বা।

(mucous membrane) নিচে এক জোড়া সাবলিংগুয়াল গ্রন্থি। প্রত্যেক প্যারটিড ও সাবম্যান্ডিবুলার গ্রন্থি হইতে একটি করিয়া এবং প্রত্যেক সাবলিংগুয়াল গ্রন্থি হইতে একাধিক প্রণালী আসিয়া যথাক্রমে পেষক ও নিচের কৃন্তক দন্তের কাছে এবং জিহ্বার তলায় মুখবিবরে পড়িয়াছে (চিত্র 4.1)।

4.2 লালাগ্রন্থির আণুবীক্ষণিক গঠন (histology of salivary glands)

প্রত্যেক লালাগ্রন্থির ভিতরে যোগকলার মধ্যে বহু রসক্ষরণকারী থলি বা কোষ্টক (alveoli) ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র প্রণালীর (duct) প্রান্তে অবস্থিত। এই প্রণালীগুলি পরস্পর মিলিয়া ক্রমে গ্রন্থির মূল নালীতে পড়িয়াছে। কোষ্টক ও তৎসংলগ্ন প্রণালীগুলি অনেকটা শাখাপ্রশাখায় বিভক্ত আঙ্গুরগুচ্ছের মত বিন্যস্ত। এরূপ গ্রন্থিকে **অসীমাক্ষি বা অনিয়ত** (racemose) **গ্রন্থি** বলে।

রসক্ষরণকারী **থলি** বা **কোষ্টকগুলি** মোটামুটি গোলাকার বা ডিম্বাকার (চিত্র 4.2)। কোষ্টকের কেন্দ্রীয় বিবর ঘিরিয়া **একসারি** মাথা-কাটা পিরামিডের মত কোষ একটি ভিত্তি-ঝিল্লীর উপরে সজ্জিত থাকে ; কয়েকটি শাখাবিশিষ্ট, তার্কব (spindle-shaped) বা তারকাকৃতি (star-shaped) সংকোচনশীল কোষ (**পৈশিক আবরক কোষ**, myoepithelial cell) ঐ রসক্ষরণকারী কোষের সারিটিকে বেষ্টন করিয়া থাকে এবং ইহাদের সংকোচনের ফলে কোষ্টকের লালা কোষ্টক-সংলগ্ন প্রণালীতে প্রবাহিত হয়।

কোষ্টকের (alveolus) রসক্ষরণকারী কোষগুলি দুই প্রকার : (*a*) **রসকোষ** (serous cell) : ইহাদের সাইটোপ্লাজমে বহু ক্ষুদ্র ও অনচ্ছ (opaque) দানা (granules) থাকায় এই কোষগুলিকে ঘোরবর্ণ (dark) দেখায় : প্রতেকটি দানা ঝিল্লীবেষ্টিত (membrane-bound) এবং তাহার মধ্যে বহু এনজাইম-উৎপাদক জাইমোজেন অণু সঞ্চিত থাকে। নিউক্লিয়াস অপেক্ষাকৃত বৃহৎ, গোলাকার বা ডিম্বাকার এবং কোষের পাদদেশের কিছুটা নিকটে অবস্থিত : নিউক্লিয়াস ও কোষের পাদদেশের মাঝখানে বহু এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম জাল দেখা যায়। (*b*) **শ্লেষ্মাকোষ** (mucous cell) : ইহাদের সাইটোপ্লাজমে দানার পরিবর্তে বহু বৃহৎ ও ঈষদচ্ছ (translucent) শ্লেষ্মাকণা থাকে এবং তাহারই ভিড়ে ক্ষুদ্র, চ্যাপটা, পাতের মত বা দুমড়ানো নিউক্লিয়াসটি কোষের একেবারে পাদদেশে সংকুচিত হইয়া থাকে। শ্লেষ্মাকোষগুলি অপেক্ষাকৃত লঘুবর্ণ (lighter) এবং ইহারা শ্লেষ্মা (mucin) ক্ষরণ করে। রসকোষগুলি এনজাইম ক্ষরণ করে।

লালাগ্রন্থির কোষ্টকগুলি তিন প্রকার : (*i*) কেবল রসকোষে গঠিত রস-কোষ্টক (serous alveolus), (*ii*) কেবল শ্লেষ্মাকোষে গঠিত শ্লেষ্মাকোষ্টক (mucous alveolus), (*iii*) উভয় প্রকার কোষে গঠিত মিশ্র কোষ্টক (mixed alveolus)। মিশ্র কোষ্টকের কেন্দ্রীয় বিবর ঘিরিয়া এক সারি শ্লেষ্মাকোষ এবং বিবর হইতে দূরে কোষ্টকের একপ্রান্তে অর্ধচন্দ্রাকারে সজ্জিত এক সারি চ্যাপটা

রসকোষ (**অর্ধচন্দ্র কোষ**, demilune cell) থাকে। অর্ধচন্দ্র কোষগুলির প্রণালী শ্লেষ্মাকোষগুলির ফাঁকে ফাঁকে বাহিয়া আসিয়া কোষ্টকের বিবরে পড়ে।

মানুষের প্যারটিড গ্রন্থি কেবল রসকোষ্টকে গঠিত অর্থাৎ **রসগ্রন্থি** (serous gland)। মানুষের সাবম্যান্ডিবুলার ও সাবলিংগুয়াল গ্রন্থি **মিশ্র গ্রন্থি** (mixed gland)—সাবম্যান্ডিবুলারে বহু রসকোষ্টক ও অপেক্ষাকৃত স্বল্প সংখ্যায় মিশ্র কোষ্টক থাকে, কিন্তু সাবলিংগুয়ালে বহু শ্লেষ্মাকোষ্টক, স্বল্পসংখ্যক মিশ্র কোষ্টক এবং কখনও কখনও অল্প কয়েকটি রসকোষ্টক পাওয়া যায়। আবার কয়েকটি মানবেতর প্রাণীর সাবলিংগুয়াল কেবল শ্লেষ্মাকোষ্টকে গঠিত **শ্লেষ্মাগ্রন্থি** (mucous gland)।

কোষ্টক হইতে উৎপন্ন ক্ষুদ্রতম প্রণালীগুলির গাত্র একসারি সমমাত্র (cubical) কোষে গঠিত ; তাহা ছাড়া কয়েকটি পৈশিক আবরক কোষও (myoepithelial cell) থাকে। বৃহত্তর প্রণালীগুলির গাত্রে সমমাত্র কোষের পরিবর্তে স্তম্ভাকার (columnar) কোষ বর্তমান : ইহাদের মুক্ত প্রান্তে সাইটোপ্লাজমে গঠিত ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অঙ্গুলির মত 'মাইক্রোভিলাই' থাকে।

4.3 লালার উপাদান (composition of saliva)

লালা বর্ণহীন, ঈষৎ সান্দ্র (viscous), রক্তরস অপেক্ষা লঘু (dilute) এবং সামান্য অম্লধর্মী, প্রশম (neutral) বা ক্ষারধর্মী রস। মানুষের মুখবিবরে মিশ্রিত লালার গুণ ও উপাদান নিম্নরূপ।

দৈনিক পরিমাণ : **1-1.5** লিটার ; আপেক্ষিক গুরুত্ব (specific gravity) : **1.002-1.010** ; পি-এইচ (pH) : **5.8-7.1** ; জল : **99.4%** ; কঠিন পদার্থ : **0.6%** ; অজৈব লবণ : **0.2%** ; জৈব উপাদান : **0.4%**।

লালার অজৈব লবণগুলির মধ্যে সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতির ক্লোরাইড, বাইকার্বনেট, ফসফেট, সালফেট ও থায়োসায়ানেট উল্লেখযোগ্য। সোডিয়াম ও ক্লোরাইড যথাক্রমে মুখ্য ধাতব আয়ন ও অম্লধর্মী আয়ন। সোডিয়াম ও ক্লোরাইডের গাঢ়তা (concentration) রক্তরস অপেক্ষা কম ; পটাসিয়ামের গাঢ়তা রক্তরসের তুলনায় অধিক।

লালার জৈব উপাদানগুলির মধ্যে শ্লেষ্মা (mucin), এনজাইম, অ্যামাইনো অ্যাসিড, ইউরিয়া ও ইউরিক অ্যাসিড উল্লেখ্য। শ্লেষ্মার অণু প্রোটিন ও মিউকোপলিস্যাকারাইডের মিলনে গঠিত ; ইহা প্যারটিডের লালায় নাই, কিন্তু অন্য দুইটি লালাগ্রন্থির লালার প্রধান জৈব উপাদান। শ্লেষ্মার পরিমাণে

পার্থক্যের জন্যই প্যারটিড, সাবম্যান্ডিবুলার ও সার্বলিংগুয়ালের লালার সান্দ্রতার অনুপাত 1.5 : 3.4 : 13.4।

এনজাইমগুলির মধ্যে শ্বেতসার-পাককারী (amylase) এনজাইম **টায়ালিন** (ptyalin) প্রধান। ইহা মানুষ, বনমানুষ ও গিনিপিগের লালায় যথেষ্ট পরিমাণে থাকে, কিন্তু গোমহিষাদি গৃহপালিত পশুর লালায় নাই বলিলেই চলে। অল্প পরিমাণে মল্টেজ (maltase), **লাইসোজাইম** (lysozyme) নামক জীবাণুনাশক এনজাইম এবং ক্যাল্লিক্রেইন (kallikrein) নামক রক্তবাহ-প্রসারক (vasodilator) এনজাইমও লালায় বর্তমান।

4.4 লালার ক্রিয়া (functions of saliva)

1. **কার্বোহাইড্রেট পরিপাক :** মানুষের লালার টায়ালিন বা স্যালাই-ভারি অ্যামাইলেজ স্টার্চ (শ্বেতসার), ডেক্সট্রিন, গ্লাইকোজেন প্রভৃতি পলি-স্যাকারাইডকে পরিপাক করে। ইহার ক্রিয়ার জন্য কয়েকটি বস্তু ও অবস্থার প্রয়োজন : (*a*) ক্লোরাইড আয়নের উপস্থিতি। (*b*) ঈষৎ অম্লধর্মী, প্রশম (neutral) বা ক্ষারধর্মী পরিবেশ— টায়ালিনের ক্রিয়ার পক্ষে সর্বোত্তম (optimum) পি-এইচ 6 7। পাকস্থলীতে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের তীব্র অম্লধর্মিতা টায়ালিনকে নিষ্ক্রিয় করিয়া দেয়। অবশ্য পাকস্থলীতে উক্ত অ্যাসিড ধীরে ধীরে খাদ্যপিণ্ডের (bolus) ভিতরে প্রবেশ করে, তাই খাদ্যপিণ্ডের কেন্দ্রে বহুক্ষণ পর্যন্ত তাহার সহিত মিশ্রিত টায়ালিনের ক্রিয়া চলিতে থাকে। বস্তুতঃ খাদ্য মুখে অল্পক্ষণ থাকে বলিয়া টায়ালিনের ক্রিয়া সেখানে সম্পূর্ণ হয় না, মুখ্যতঃ পাকস্থলীর বিবরেই সম্পন্ন হয়। (*c*) টায়ালিন উদ্ভিদকোষের প্রাচীরের সেলুলোজকে পরিপাক করিতে পারে না, সেজন্য খাদ্যকে সিদ্ধ করিয়া উদ্ভিদের কোষপ্রাচীরে সেলুলোজের স্তরকে কিছুটা ছিন্নভিন্ন করিয়া না দিলে টায়ালিন উদ্ভিদকোষের মধ্যে প্রবেশ করিয়া সঞ্চিত স্টার্চকে পরিপাক করিতে পারে না।

টায়ালিনের প্রভাবে স্টার্চ প্রথমে দ্রবণীয় স্টার্চে (soluble starch) পরিণত হইয়া জলে সম্পূর্ণ দ্রবীভূত হয়। পরে টায়ালিনের ক্রিয়ায় জলবিশ্লেষের (hydrolysis) ফলে স্টার্চের অণুগুলি ক্রমশঃ ক্ষুদ্র হইতে ক্ষুদ্রতর ডেক্সট্রিন অণুতে এবং পরিণামে 'লিমিট ডেক্সট্রিন' নামক ক্ষুদ্র অলিগোস্যাকারাইড, ডাইস্যা-কারাইড মল্টোজ ও ট্রাইস্যাকারাইড মল্টোট্রায়োজে পরিণত হয় :

স্টার্চ → দ্রবণীয় স্টার্চ → এরিথ্রোডেক্সট্রিন → অ্যাক্রোডেক্সট্রিন →
'লিমিট ডেক্সট্রিন' + মল্টোট্রায়োজ + মল্টোজ

দ্রবণীয় স্টার্চ ও এরিথ্রোডেক্সট্রিনের দ্রবণে আয়োডিন দিলে যথাক্রমে নীল

ও রক্তাভ বর্ণ উৎপন্ন হয়। অ্যাক্রোডেক্সট্রিন ও তাহার পরিপাকজাত বস্তুগুলির দ্রবণে আয়োডিন দিলে রঙের কোনও পরিবর্তন ঘটে না। 'লিমিট ডেক্সট্রিন' নামক অলিগোস্যাকারাইডটির শাখাপ্রশাখাবিশিষ্ট আণবিক শৃঙ্খলকে টায়ালিন পরিপাক করিতে পারে না।

2. দ্রাবক ক্রিয়া (solvent action) : লালার জলে বিভিন্ন খাদ্যবস্তু দ্রবীভূত হয়; ফলে (*a*) খাদ্যের দ্রবণ জিহ্বার স্বাদকোষে (taste cell) পৌঁছিয়া স্বাদের অনুভূতি জাগায়, (*b*) খাদ্যের দ্রবণের সহিত জলদ্রাব্য এনজাইমগুলি মিশিয়া যাওয়ায় পরিপাক সহজসাধ্য হয়, (*c*) মুখবিবর, ওষ্ঠাধর ও জিহ্বা সর্বদা সিক্ত থাকায় কথা বলা সুসাধ্য হয় এবং (*d*) মুখবিবর, দাঁত, জিহ্বা ও মাড়ি অবিরত ধুইয়া পরিষ্কার হয় ও ভুক্তাবশেষ, বিচ্ছিন্ন কোষ প্রভৃতি মুখ হইতে অপসৃত হয়, ইহাতে মুখে জীবাণুর বৃদ্ধি কমিয়া মুখের স্বাস্থ্য অক্ষুণ্ণ থাকে— কোনও রোগে লালাক্ষরণ কমিলে মুখে জীবাণুর ক্রিয়া বাড়িয়া দুর্গন্ধ হয়।

3. পিচ্ছিলতাসাধন (lubrication) : লালার শ্লেষ্মা খাদ্যের সহিত মিশিয়া খাদ্যকে পিচ্ছিল করে, ফলে চিবাইতে ও গিলিতে সুবিধা হয়।

4. জীবাণুনাশক ক্রিয়া (bacteriolytic action) : লাইসোজাইমের ক্রিয়ায় স্ট্রেপ্টোকক্কাস, স্ট্যাফাইলোকক্কাস, ব্যাসিলাস প্রভৃতি কয়েক জাতের জীবাণু কমবেশী বিনষ্ট হইয়া মুখবিবরের স্বাস্থ্য অক্ষুণ্ণ থাকে। লালার অস্বাভাবিক স্বল্পতাজনিত রোগে মুখে জীবাণুর ক্রিয়া বাড়িয়া দন্তক্ষয়ের (দাঁতে পোকা, dental caries) প্রবণতা বৃদ্ধি পায়।

5. রেচন (excretion) : বহুপ্রকার বর্জ্য পদার্থ (waste products) লালার সহিত নিঃসৃত হয়, যথা ইউরিয়া, ইউরিক অ্যাসিড, গন্ধকযৌগ (sulfur compounds), পারদ ও সীসার যৌগ, নানাপ্রকার অ্যান্টিবায়োটিক ও অ্যালকালয়েড এবং মাম্প্স্, পোলিও ও জলাতঙ্ক রোগের ভাইরাস।

6 জলসাম্য (water balance) ও তৃষ্ণা : দেহে জলাভাব ঘটিলে লালাক্ষরণ কমিয়া মুখবিবর, জিহ্বা, গলবিল (pharynx) প্রভৃতির শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (mucous membrane) শুখাইয়া যায়, ফলে ঐ সকল স্থানের গ্রাহকগুলি (receptors) উদ্দীপ্ত হইয়া হাইপোথ্যালামাসের তৃষ্ণাকেন্দ্রে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulses) পাঠায়। ইহাতে তৃষ্ণার উদ্রেক হয় এবং জল পান করিয়া দেহে জলসাম্য পুনঃপ্রতিষ্ঠা করা হয়।

7. রক্তবাহের প্রসারণ (vasodilatation) : লালাগ্রন্থি হইতে অল্প পরিমাণে ক্যাল্লিক্রেইন রক্তে গিয়া রক্তরসের প্রোটিন হইতে ব্র্যাডিকাইনিন

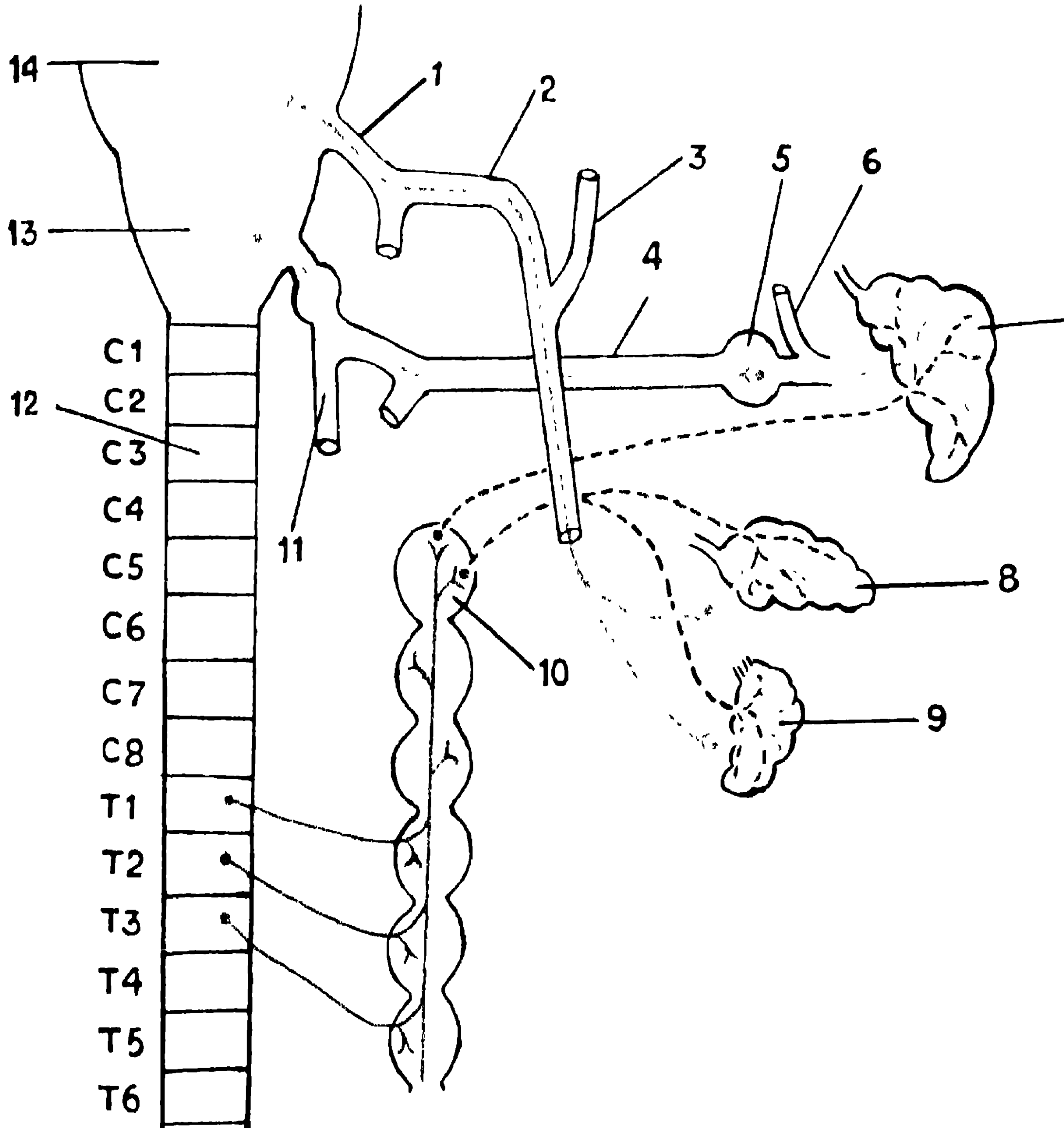
(bradykinin) উৎপাদন করে। শেষোক্ত পলিপেপ্‌টাইডটি রক্তবাহগুলিকে আরও প্রশস্ত করিয়া খুলিয়া দিয়া রক্তসঞ্চালন বাড়ায়।

8. **মুখবিবরে অতিরিক্ত অম্লত্ব নিবারণ :** লালার বাইকার্বনেটের জন্য মুখবিবরের পি-এইচ (pH) 7.0-এর কাছাকাছি থাকে। ইহাতে একদিকে টায়ালিনের ক্রিয়া সুসাধ্য হয়, অপরদিকে দন্ত হইতে ক্যালসিয়ামের লালায় দ্রবীভূত হওয়া নিবারিত হয়। লালা খুব অম্লধর্মী হইয়া গেলে দন্ত হইতে যথেষ্ট ক্যালসিয়াম দ্রবীভূত হইয়া লালায় আসিয়া অপচয় হয়।

4 5 লালাক্ষরণ নিয়ন্ত্রণ (regulation of saliva secretion)

কোনও প্রত্যক্ষ উদ্দীপনা (stimulus) না থাকিলে মানুষের লালার প্রায় 25% প্যারটিড হইতে, প্রায় 70% সাবম্যান্‌ডিবুলার গ্রন্থি হইতে এবং অবশিষ্টাংশ সাবলিংগুয়াল গ্রন্থি হইতে ক্ষরিত হয়। কিন্তু লালাক্ষরণ সর্বোচ্চ মাত্রায় উদ্দীপিত হইলে মোট লালার প্রায় 65% প্যারটিড গ্রন্থি হইতে এবং প্রায় 30% সাবম্যান্‌ডিবুলার গ্রন্থি হইতে ক্ষরিত হয়। কোষ্টক বা রসক্ষরণকারী থলির (alveolus) রসকোষ (serous cell) ও শ্লেষ্মাকোষ যথাক্রমে এনজাইম ও শ্লেষ্মা ক্ষরণ করে; পটাসিয়াম, বাইকার্বনেট ও ক্লোরাইড আয়নও কোষ্টকের কোষগুলি হইতেই ক্ষরিত হয়, কিন্তু সোডিয়াম, আয়োডাইড ও থায়োসায়ানেট আয়ন কোষ্টক-সংলগ্ন প্রণালীর কোষ হইতে ক্ষরিত হয়।

নিম্নলিখিত তথ্যগুলি হইতে প্রমাণ হয় যে লালা পরিস্রাবণ (fittration), ব্যাপন (diffusion) প্রভৃতি ভৌত (physical) পদ্ধতিতে উৎপন্ন হয় না, লালাগ্রন্থির কোষগুলির দ্বারা সক্রিয়ভাবে ক্ষরিত (active secretion) হয় : (*i*) লালাগ্রন্থির কোষগুলি পরিস্রাবক ঝিল্লীর (filtering membrane) কোষের মত চ্যাপটা ও দানাবিহীন নয়, বরং তাহাদের দানাদার সাইটোপ্লাজম, সুগঠিত এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম ও গলগি-অঙ্গ এবং বহু মাইটোকনড্রিয়া দেখিয়া তাহাদের রসক্ষরণকারী কোষ বলিয়াই মনে হয়; (*ii*) লালাক্ষরণের সময়ে ঐ কোষগুলির অক্সিজেন-গ্রহণ, তাপ ও কার্বন ডাই-অক্সাইডের উৎপাদন বাড়ে, সাইটোপ্লাজমের দানা কমিয়া যায় এবং বৈদ্যুতিক বিভব (electrical potential) পরিবর্তিত হয়; (*iii*) লালায় পটাসিয়াম আয়নের গাঢ়তা (concentration) রক্তরসের তুলনায় বেশী; (*iv*) লালার টায়ালিন রক্তে নাই; (*v*) ক্যারোটিড ধমনীর রক্তচাপ লালাগ্রন্থির প্রণালীতে জলের চাপ অপেক্ষা কম, অথচ রক্তরসের অভিস্রবণ-প্রেষ (osmotic pressure) লালার তুলনায় অধিক, অতএব রক্ত হইতে রস পরিস্রুত হইয়া লালায় আসা সম্ভব নয়।



চিত্র 4.3. লালাগ্রন্থির নার্ভসংযোগ। 1-সপ্তম করোটিক নার্ভ; 2-কর্ডা টিম্‌প্যানি; 3-পঞ্চম করোটিক নার্ভের লিংগুয়াল শাখা; 4-লেসার পেট্রোসাল নার্ভ; 5-ওটিক নার্ভগ্রন্থি; 6-অরিকুলো-টেম্পোরাল নার্ভ; 7-প্যারটিড; 8-সাবম্যান্‌ডিবুলার; 9-সাবলিংগুয়াল; 10-সুপিরিয়র সার্ভাইক্যাল নার্ভগ্রন্থি; 11-নবম করোটিক নার্ভ; 12-সুষুম্নাকাণ্ড; 13-সুষুম্নাশীর্ষক; 14-পন্‌স্‌। সমবেদী ও পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি যথাক্রমে নীল ও রক্তবর্ণে এবং নার্ভগ্রন্থিপূর্ব ও নার্ভগ্রন্থি-উত্তর নার্ভতন্তুগুলি যথাক্রমে অখণ্ডিত ও খণ্ডিত রেখায় অঙ্কিত।

সমবেদী (sympathetic) ও পরাসমবেদী (parasympathetic) নার্ভের দ্বারা লালাক্ষরণ নিয়ন্ত্রিত হয় (চিত্র 4.3)। সমবেদী নার্ভতন্ত্রের পার্শ্বীয় মালার (lateral sympathetic chain) সুপিরিয়র সার্ভ্যাইক্যাল নার্ভগ্রন্থি (superior cervical ganglion) হইতে উৎপন্ন নার্ভগ্রন্থি-উত্তর (postganglionic) সমবেদী নার্ভতন্তুগুলি রক্তবাহের গাত্র বাহিয়া লালাগ্রন্থিগুলিতে গিয়াছে। অন্য-দিকে সুষুম্নাশীর্ষকে (medulla oblongata) উৎপন্ন পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি নবম করোটিক নার্ভ দিয়া গিয়া ওটিক নার্ভগ্রন্থিতে (otic ganglion) শেষ হয় এবং সেখান হইতে উৎপন্ন নার্ভগ্রন্থি-উত্তর পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি প্যারটিড গ্রন্থিতে সরবরাহ হয়; আবার পন্‌স্‌-এ (pons) উৎপন্ন পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি সপ্তম করোটিক নার্ভ ও তাহার কর্ডা টিম্‌প্যানি শাখা বাহিয়া সাবম্যাক্সিলারি নার্ভগ্রন্থিতে সমাপ্ত হয় এবং সেখান হইতে উৎপন্ন নার্ভগ্রন্থি-উত্তর নার্ভতন্তুগুলি সাবম্যান্ডিবুলার (সাবম্যাক্সিলারি) ও সাবলিংগুয়াল লালা-গ্রন্থিতে যায়।

প্রত্যেক লালাগ্রন্থির পরাসমবেদী নার্ভতন্তুর উদ্দীপনায় উক্ত গ্রন্থি হইতে যথেষ্ট পরিমাণে জলীয় লালা ক্ষরিত হয়— এরূপ লালায় জল ও অজৈব লবণ যথেষ্ট থাকিলেও জৈব উপাদানের পরিমাণ কম থাকে; জলীয় লালার ক্ষরণ উদ্দীপিত করে বলিয়া হেইডেনহেইন এক সময়ে লালাগ্রন্থির পরাসমবেদী নার্ভ-তন্তুগুলিকে রসোদ্দীপক (secretory) আখ্যা দিয়াছিলেন। পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলির উদ্দীপনায় লালাগ্রন্থি হইতে রক্তে ক্যাল্লিক্রেইন এনজাইমটি নিঃসৃত হয় এবং তাহার প্রভাবে লালাগ্রন্থির রক্তবাহগুলি প্রসারিত (dilated) হইয়া গিয়া লালাগ্রন্থিতে রক্তসঞ্চালন বাড়ে (4.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য); ইহাও লালাক্ষরণ বাড়িবার অন্যতম কারণ।

সমবেদী নার্ভতন্তুগুলির উদ্দীপনায় মানুষের প্যারটিড গ্রন্থির লালাক্ষরণ বিশেষ প্রভাবিত হয় না, অথচ সাবম্যান্ডিবুলার গ্রন্থি হইতে সান্দ্র (viscous) ও জৈব উপাদানে সমৃদ্ধ লালা অল্প পরিমাণে ক্ষরিত হয়; এজন্য হেইডেন-হেইন শেষোক্ত গ্রন্থির সমবেদী নার্ভতন্তুগুলিকে জৈব পদার্থের ক্ষরণোদ্দীপক (trophic fibres) বলিয়া মনে করিয়াছিলেন। প্রজাতিভেদে সমবেদী নার্ভ-তন্তুর ক্রিয়ায় পার্থক্য দেখা যায়।

ল্যাংলি প্রমুখ বিজ্ঞানীদের মতে, সমবেদী ও পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি একদিকে লালাগ্রন্থির কোষগুলিকে উদ্দীপিত করিয়া এবং অপরদিকে গ্রন্থির রক্তবাহগুলির সংকোচন বা প্রসারণ ঘটাইয়া লালাক্ষরণকে প্রভাবিত করে।

অ্যান্‌রেপ, কোট্‌স্ প্রমুখের মতে, সমবেদী নার্ভতন্তুগুলির উদ্দীপনায় গ্রন্থির কোষ্টকগুলিতে (alveoli) পৈশিক আবরক কোষগুলির (myoepithelial cells) সংকোচন ঘটিয়া সঞ্চিত লালা প্রণালীতে নিঃসৃত হয়।

আহার আরম্ভের পাঁচ মিনিটের মধ্যে লালাক্ষরণ শুরু হয়। পাভলভ দেখাইয়াছেন যে আহারকালে খাদ্যের স্বাদ, গন্ধ প্রভৃতি অনুভূতির ফলে প্রতিবর্ত ক্রিয়ার (reflex action) উদ্রেক হইয়া মস্তিষ্কের নার্ভকেন্দ্র হইতে পরাসমবেদী নার্ভতন্তু বাহিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) লালাগ্রন্থিতে পৌঁছায়, তাহাতেই লালাক্ষরণ উদ্দীপিত হয়। খাদ্যের স্বাদজনিত লালাক্ষরণ সহজাত অর্থাৎ অভ্যাসনিরপেক্ষ (unconditioned) প্রতিবর্ত ক্রিয়ার ফল, কিন্তু খাদ্যের সুবাস বা লোভনীয় খাদ্যের দৃশ্য যে লালাক্ষরণ ঘটায় তাহা অভ্যাসনির্ভর (conditioned) প্রতিবর্ত ক্রিয়ার ফল; নিম্নের সারণীতে ইহাদের সংক্ষিপ্ত বিবরণ দ্রষ্টব্য।

সারণী 4.1. লালাক্ষরণের কয়েকটি প্রতিবর্ত।

উদ্দীপনা	গ্রাহক	অন্তর্মুখ নার্ভ	নার্ভকেন্দ্র	বহির্মুখ নার্ভ	প্রতিবর্ত
খাদ্যের স্বাদ	জিহ্বার স্বাদ-কোষ	সপ্তম, নবম করোটিক নার্ভ	সুষুম্নাশীর্ষক, পন্‌স্	সপ্তম, নবম করোটিক নার্ভ	সহজাত
খাদ্যের স্পর্শ	পাকস্থলীর স্পর্শগ্রাহক	দশম করোটিক নার্ভ	ঐ	ঐ	ঐ
খাদ্যের গন্ধ	নাসারন্ধ্রের গন্ধগ্রাহী নার্ভকোষ	প্রথম করোটিক নার্ভ	গুরুমস্তিষ্ক	ঐ	অভ্যাসনির্ভর
খাদ্যের দৃশ্য	অক্ষিপটের দণ্ড ও শঙ্কু	দ্বিতীয় করোটিক নার্ভ	ঐ	ঐ	ঐ

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

গ্রাসনালী

5.1 গ্রাসনালীর অঙ্গসংস্থান (anatomy of œsophagus)

গ্রাসনালী গলবিলের (pharynx) পিছনদিক হইতে উৎপন্ন হইয়া শ্বাসনালী ও হৃৎপিণ্ডের পিছন দিয়া বক্ষগহ্বর (thorax) অতিক্রম করিয়া মধ্যচ্ছদা (diaphragm) ভেদ করিয়া উদরে প্রবেশ করে এবং পাকস্থলীতে উন্মুক্ত হয়। গ্রাসনালী প্রায় 25 সেণ্টিমিটার দীর্ঘ পেশীগঠিত নল। ইহার ব্যাস পাকস্থলী, বৃহদন্ত্র প্রভৃতির তুলনায় অনেক কম। গলবিল হইতে ইহার উৎপত্তিস্থলটি শ্বাসনালীর প্রবেশমুখের পিছনে অবস্থিত। গ্রাসনালী খাদ্যকে গলবিল হইতে পাকস্থলী পর্যন্ত বহন করে।

5.2 গ্রাসনালীর আণুবীক্ষণিক গঠন (histology of œsophagus)

গ্রাসনালীর গাত্রে বাহির হইতে ভিতরের দিকে কলার চারটি স্তর পরপর সজ্জিত থাকে (চিত্র 5.1)।

1. যোগকলাস্তর (connective tissue layer) : ইহা গ্রাসনালী-গাত্রের সর্বাপেক্ষা বাহিরের স্তর এবং অ্যারিওলার কলায় গঠিত।

2. পেশীস্তর (muscle coat) : ভিতরের দিকে পরবর্তী স্তরটি প্রধানতঃ দুই স্তবক পেশী দিয়া গঠিত : (*i*) বাহিরের স্তবকে পেশীতন্তুগুলি গ্রাসনালীর দৈর্ঘ্যবরাবর লম্বালম্বিভাবে সজ্জিত থাকে। গ্রাসনালীর প্রথমাংশে পেশীস্তরটি প্রধানতঃ সরেখ (striated) পেশীতন্তুতে গঠিত, কিন্তু নিচের দিকে ক্রমশঃ ইহার পরিবর্তে অনৈচ্ছিক বা অরেখ (unstriated) পেশীতন্তু বাড়িতে বাড়িতে শেষভাগে কেবল শেষোক্ত পেশীতন্তুই বর্তমান। (*ii*) গ্রাসনালীর শেষার্ধে সুগঠিত ভিতরের স্তবকে অরেখ পেশীতন্তু বৃত্তাকারে গ্রাসনালী ঘিরিয়া বিন্যস্ত থাকে। উভয় স্তবকের মাঝখানে কতকগুলি নার্ভতন্তুর জটিল জাল (nerve plexus) বর্তমান ; ইহা উক্ত পেশীগুলির সঞ্চালন (movement) নিয়ন্ত্রণ করে। ভিতরের বৃত্তাকার স্তবকটি গ্রাসনালী ও পাকস্থলীর সংযোগস্থলে অপেক্ষাকৃত সুদৃঢ় ও সুগঠিত হইয়া একটি পেশীবলয় (sphincter) সৃষ্টি করে।

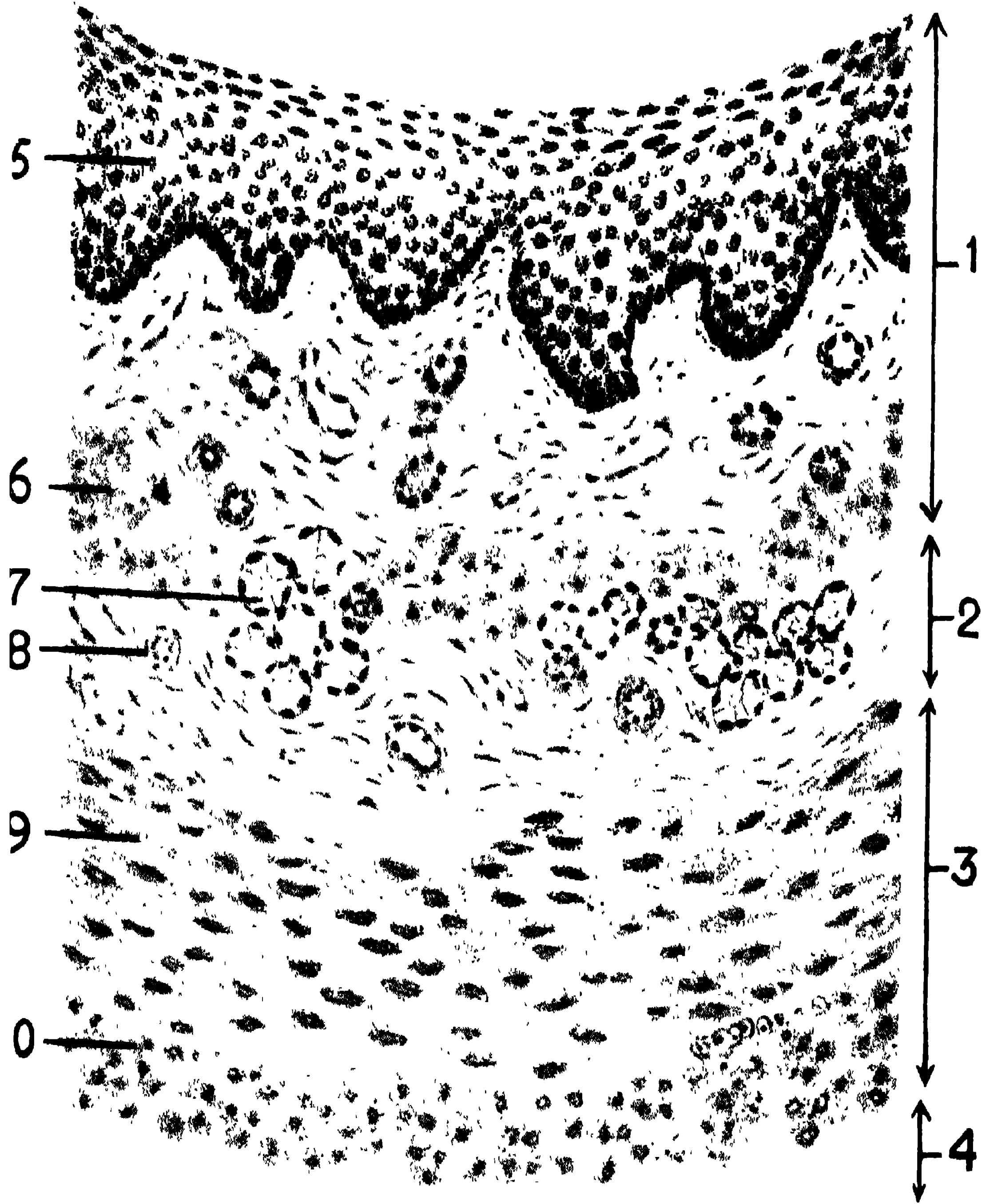
3. অধঃশ্লৈষ্মিক স্তর (submucous coat) : আলগা অ্যারিওলার যোগকলায় গঠিত পরবর্তী স্তরে রক্তবাহ ও লসিকাবাহের (lymph vessels) জাল, নার্ভজাল, গ্রাসনালী-গ্রন্থি (œsophageal gland) নামক শ্লেষ্মাগ্রন্থি প্রভৃতি থাকে। শেষোক্ত গ্রন্থিগুলির প্রণালী শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী ভেদ করিয়া গ্রাসনালীর বিবরে পড়ে। নার্ভজালটি শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর ঝিল্লীপেশীকে (muscularis mucosae) নিয়ন্ত্রণ করে।

4. শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (mucous membrane) : এই বিবর-সন্নিহিত স্তরটির বাহিরের দিকে অর্থাৎ উহার সহিত অধঃশ্লৈষ্মিক স্তরের সংযোগস্থলের নিকটে **ঝিল্লীপেশী** নামক এক স্তবক অনৈচ্ছিক পেশীতন্তু বর্তমান। শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর অ্যারিওলার কলায় গঠিত জমি বা ধাত্রে (matrix) যোগকলা কোষ, কোলাজেন ও স্থিতিস্থাপক তন্তু এবং গ্রাসনালীর শেষাংশে কতকগুলি জটিল ও শাখাবিশিষ্ট নলাকৃতি গ্রন্থি থাকে ; এসকল গ্রন্থির শ্লেষ্মা (mucus) খাদ্যবস্তুকে পিচ্ছিল করিয়া তাহার প্রবেশকে সুগম করে। বিবরের দিকে শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর পৃষ্ঠটি স্তরিত শল্কাকার আবরক কলায় (stratified squamous epithelium) আবৃত ; ফলে খাদ্যের ঘর্ষণে কোমলতর আভ্যন্তরীণ স্তরগুলিতে আঘাত লাগে না।

5.3 গলাধঃকরণ (deglutition)

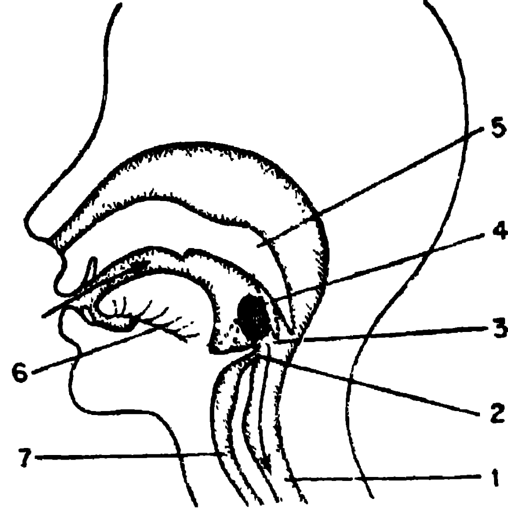
চর্বিত খাদ্যের গলাধঃকরণ স্বেচ্ছায় আরম্ভ করা হয়, কিন্তু আরম্ভের পরে উহা স্বেচ্ছাধীন না থাকিয়া প্রতিবর্ত ক্রিয়ার (reflex action) মাধ্যমে সুসম্পন্ন হয়।

চর্বিত কোমল ও পিষ্ট খাদ্য জিহ্বার মায়ালোহাইয়ইড পেশীর স্বেচ্ছাধীন সঞ্চালনে গলবিলের (pharynx) দিকে প্রেরিত হয়। এভাবে খাদ্য গলবিল, কোমল তালু, জিহ্বামূল ও টন্‌সিলের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর সংস্পর্শে আসিলে সেখানকার গ্রাহকগুলি (receptors) খাদ্যের স্পর্শে উদ্দীপিত (stimulated) হয় এবং সেগুলি হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) পঞ্চম, সপ্তম ও নবম করোটিক নার্ভের অন্তর্মুখ (afferent) নার্ভতন্তু বাহিয়া সুষুম্নাশীর্ষকের (medulla oblongata) গলাধঃকরণ কেন্দ্রে (deglutition centre) পৌঁছায়। ঐ কেন্দ্র হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ নবম ও দ্বাদশ করোটিক নার্ভের বহির্মুখ (efferent) নার্ভতন্তু দিয়া মুখবিবর, তালু, গলবিল ও স্বরযন্ত্রের (larynx) পেশীতে এবং দশম করোটিক নার্ভের বহির্মুখ তন্তু বাহিয়া গ্রাসনালীতে



চিত্র 5.1. গ্রাসনালীর প্রস্থচ্ছেদের আণুবীক্ষণিক গঠন। 1-শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী ; 2-অধঃশ্লৈষ্মিক স্তর ; 3-পেশীস্তর ; 4-যোগকলা স্তর ; 5-স্তরিত আবরক কলা ; 6-ঝিল্লীপেশী ; 7-গ্রাসনালী-গ্রন্থি : 8-রক্তবাহ ; 9-বৃত্তাকার পেশীস্তবক ; 10-লম্বালম্বি পেশীস্তবক।

পৌঁছায়। এভাবে আরব্ধ প্রতিবর্ত ক্রিয়ার ফলে গলবিলের পেশীতে একটি সংকোচন তরঙ্গ উৎপন্ন হইয়া খাদ্যকে ঠেলিয়া দ্রুত গ্রাসনালীর দিকে লইয়া যায়, কোমল তালু উপরে উঠিয়া নাসারন্ধ্রের দিকে গলবিলের পথ রুদ্ধ করে (চিত্র 5.2), স্বরযন্ত্রের সংকোচনে ও শ্বাসরন্ধ্র (glottis) বন্ধ হইয়া শ্বাসনালীর প্রবেশপথ রুদ্ধ হয় এবং শ্বসন বন্ধ থাকে, রুদ্ধ শ্বাসরন্ধ্রের উপর দিয়া খাদ্য 0.5 সেকেণ্ডের মধ্যেই গলবিল ও গ্রাসনালীর সংযোগস্থলে পৌঁছায় এবং গ্রাসনালীর প্রথমাংশের গাত্র মাত্র 0.5-1 সেকেণ্ডের জন্য শিথিল হইয়া খাদ্যকে গ্রাস-নালীতে প্রবেশ করিতে দেয়। অবিলম্বে গ্রাসনালীর গাত্র বাহিয়া ক্রমসংকোচ (peristalsis) তরঙ্গের মত নামিয়া চলে এবং খাদ্যকে সেকেণ্ডে 30-40 মিলিমিটার বেগে বহিয়া লইয়া যায়। এভাবে খাদ্য গ্রাসনালী ও পাকস্থলীর সংযোগস্থলে পৌঁছিলে সেখানকার পেশীবলয়টি (sphincter) বারেক শিথিল হইয়া খাদ্যকে পাকস্থলীতে যাইতে দেয়।



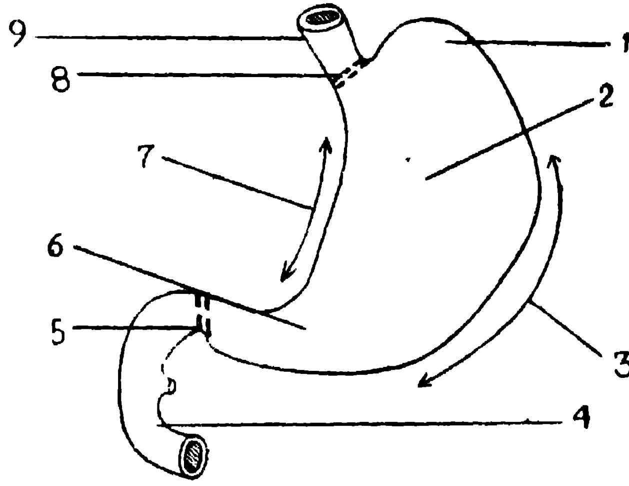
চিত্র 5.2. গলাধঃকরণ 1-গ্রাসনালী ; 2-শ্বাসরন্ধ্র ; 3-গলবিল ; 4-খাদ্যপিণ্ড ; 5-তালু ; 6-জিহ্বা , 7-শ্বাসনালী ।

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

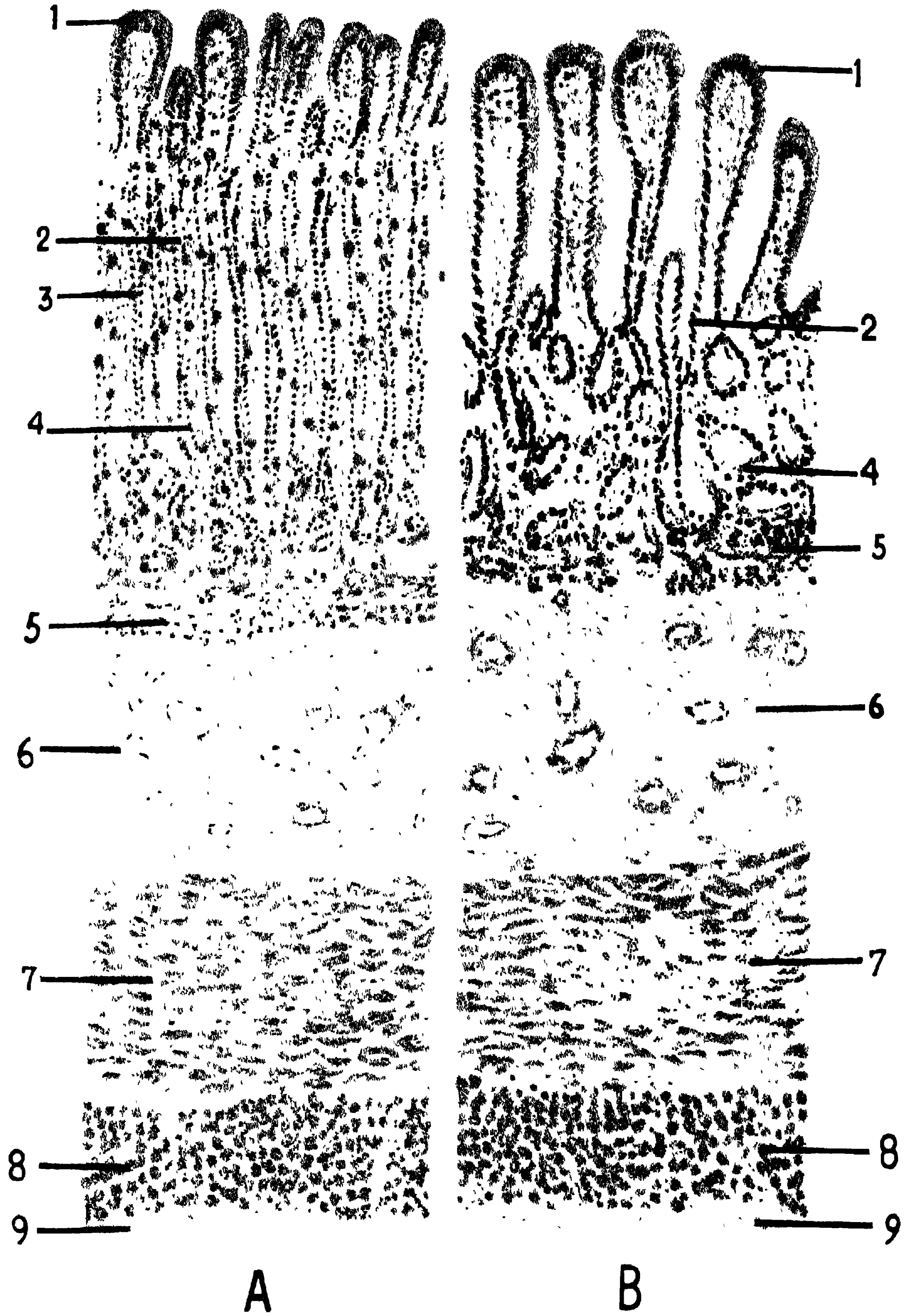
পাকস্থলী

6.1 পাকস্থলীর অঙ্গসংস্থান (anatomy of stomach)

পাকস্থলী উদরগহ্বরে মধ্যচ্ছদার (diaphragm) নিচে, অগ্ন্যাশয়ের উপরে, প্লীহার ডানদিকে এবং যকৃতের বামদিকে ও নিচের দিকে অবস্থিত। ইহা পৌষ্টিক নালীর একটি প্রশস্ত, পেশীবহুল থলির মত কক্ষ। ইহাকে দেখিতে অনেকটা J-এর মত। পাকস্থলীর বামদিকের পার্শ্বরেখাকে বৃহত্তর বক্রতা (greater curvature) এবং ডানদিকের পার্শ্বরেখাকে ক্ষুদ্রতর বক্রতা (lesser curvature) বলে (চিত্র 6.1)। পেরিটোনিয়াম নামক একটি অঙ্গধারক ঝিল্লী দিয়া পাকস্থলী আবৃত থাকে এবং পাকস্থলীর বৃহত্তর বক্রতা হইতে উক্ত ঝিল্লীর একটি দীর্ঘ আলগা ভাঁজ ঝালরের আকারে উদরের অন্য অঙ্গগুলির সামনে ঝুলিয়া থাকে; ঝিল্লীর এই ঝালরটিকে **বৃহত্তর ওমেণ্টাম** (greater omentum) বলে। গ্রাসনালী (œsophagus) ও পাকস্থলীর সংযোগস্থলকে পাকস্থলীর **হৃৎ-মুখী** (cardiac) **প্রান্ত** এবং পাকস্থলী ও গ্রহণীর (duodenum) সংযোগস্থলকে **পাইলোরিক** (pyloric) **প্রান্ত** বলে; উভয় প্রান্তের গাত্রে অরেখ (unstriated) পেশীতন্তুর একটি করিয়া সুগঠিত বলয় বৃত্তাকারে বিবরকে ঘিরিয়া থাকে এবং ইহাদের যথাক্রমে **হৃৎ-মুখী পেশীবলয়** (cardiac sphincter) ও **পাইলোরিক পেশীবলয়** (pyloric sphincter) বলে। পেশীবলয়গুলি সংকুচিত থাকিলে পৌষ্টিক নালীর ঐ অংশের বিবর অবরুদ্ধ থাকে। হৃৎ-মুখী প্রান্ত দিয়া অনুভূমিক (horizontal)



চিত্র 6.1. পাকস্থলী। 1-ফাণ্ডাস, 2-দেহ; 3-বৃহত্তর বক্রতা, 4-গ্রহণী, 5-পাইলোরিক পেশীবলয়; 6-পাইলোরিক অংশ, 7-ক্ষুদ্রতর বক্রতা, 8-হৃৎ-মুখী পেশীবলয়, 9-গ্রাসনালী।



চিত্র 6.2. পাকস্থলীর প্রস্থচ্ছেদের আণুবীক্ষণিক গঠন। A-ফাণ্ডাস; B-পাইলোরিক অংশ। 1-স্তম্ভাকার আবরক কোষ; 2-পাকস্থলী-গ্রন্থি; 3-প্যারায়েটাল কোষ; 4-পেপ্‌টিক কোষ; 5-ঝিল্লীপেশী; 6-অধঃশ্লৈষ্মিক স্তর। 7-বৃত্তাকার পেশীস্তবক; 8-লম্বালম্বি পেশীস্তবক, 9-সেরাস স্তর।

রেখা টানিলে তাহার উপরে পাকস্থলীর অংশটুকুকে **ফাণ্ডাস** (fundus) বলে। হৃৎ-মুখী ও পাইলোরিক প্রান্তসন্নিহিত অংশদ্বয়কে যথাক্রমে **হৃৎ-মুখী ও পাইলোরিক অংশ** বলা হয়। হৃৎ-মুখী অংশ, ফাণ্ডাস ও পাইলোরিক অংশ ব্যতীত পাকস্থলীর অবশিষ্টাংশকে তাহার **দেহ** (body) বলা হয়।

6.2 পাকস্থলীর আণুবীক্ষণিক গঠন (histology of stomach)

পাকস্থলীর বিভিন্ন অংশের আণুবীক্ষণিক গঠনে প্রভেদ আছে। পাকস্থলী-গাত্রে বাহির হইতে ভিতর দিকে পরপর সজ্জিত স্তরগুলি নিম্নরূপ (চিত্র 6.2)।

1. **সেরাস স্তর (serous coat) :** সর্বাপেক্ষা বাহিরের এই স্তরটি অ্যারিওলার যোগকলায় গঠিত এবং পেরিটোনিয়ামের সহিত যুক্ত। শেষোক্ত ঝিল্লীর সহিত যুক্ত থাকায় পাকস্থলীর নড়াচড়া করার কিছু স্বাধীনতা থাকিলেও তাহার অস্বাভাবিক স্থানচ্যুতি নিবারিত হয়।

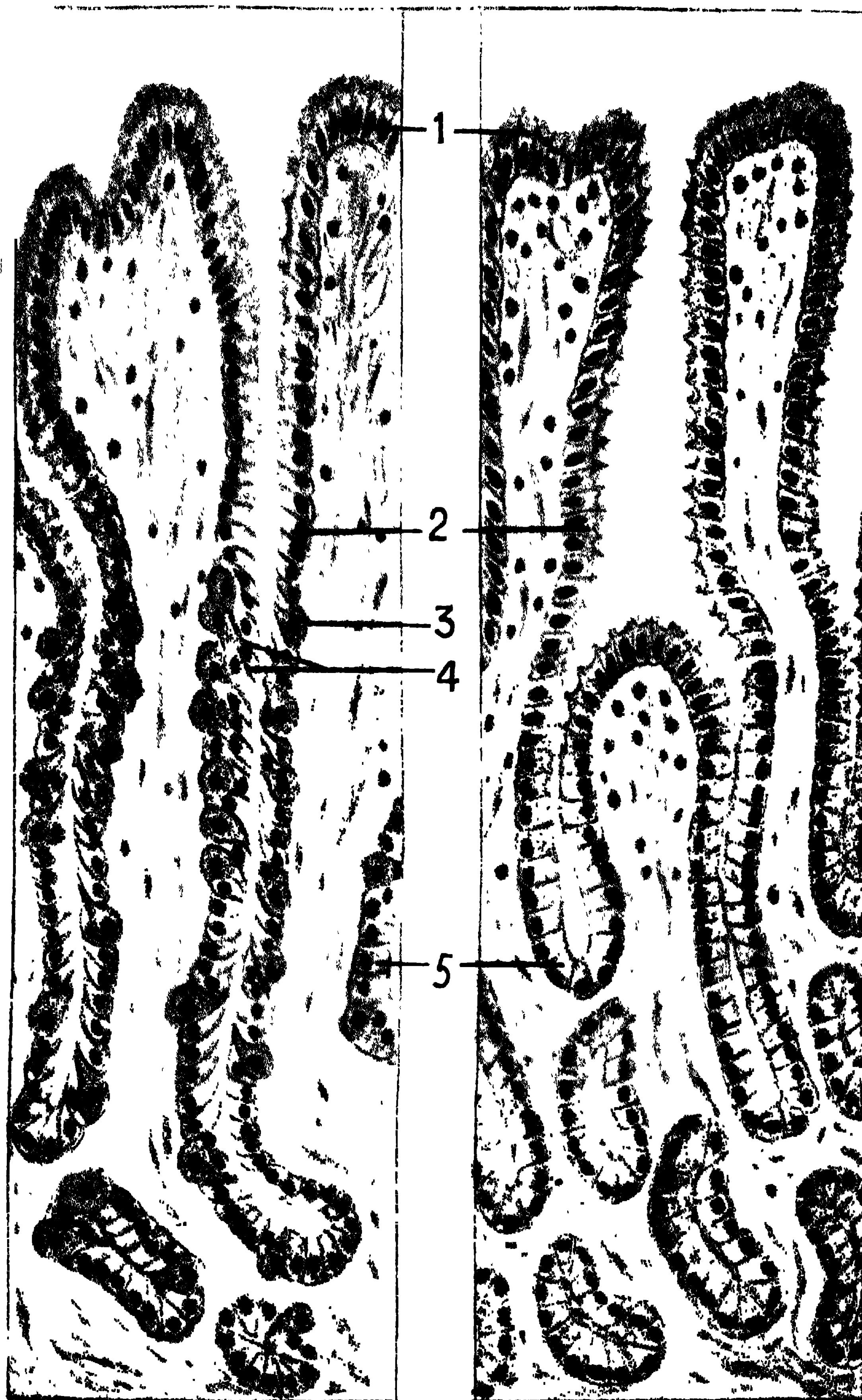
2. **পেশীস্তর (muscle coat) :** ভিতরের দিকে পরবর্তী স্তরটি প্রধানতঃ তিন স্তবক অনৈচ্ছিক বা অরেখ (unstriated) পেশীতে গঠিত। বাহিরের স্তবকে পেশীতন্তুগুলি পাকস্থলীর দৈর্ঘ্যবরাবর লম্বালম্বিভাবে, মধ্যের স্তবকে উহারা পাকস্থলীর বিবর ঘিরিয়া বৃত্তাকারে এবং ভিতরের অপেক্ষাকৃত পাতলা স্তবকে পেশীতন্তুগুলি ক্ষুদ্রতর বক্রতার দুইপাশে তির্যকভাবে (oblique) বিন্যস্ত থাকে। শেষোক্ত স্তবকের পেশীতন্তুগুলি ক্ষুদ্রতর বক্রতা বরাবর পাকস্থলীর স্বাভাবিক দৈর্ঘ্য অব্যাহত রাখে। লম্বালম্বি ও বৃত্তাকারে সজ্জিত পেশীতন্তুর স্তবকদ্বয় পাকস্থলীর ক্রমসংকোচ (peristalsis) ও অন্যান্য সঞ্চালন ঘটায়; এই স্তবক দুইটির মাঝখানে অবস্থিত নার্ভজালের (nerve plexus) নার্ভতন্তুগুলি স্তবকদ্বয়ের পেশীতন্তুগুলিকে নিয়ন্ত্রণ করে। বৃত্তাকারে সজ্জিত পেশীস্তবকটিই সুগঠিত হইয়া পাইলোরিক পেশীবলয় (sphincter) গঠন করে।

3. **অধঃশ্লৈষ্মিক স্তর (submucous coat) :** অ্যারিওলার যোগকলায় গঠিত এই স্তরটিতে রক্তবাহ ও লসিকাবাহের (lymph vessels) জাল এবং মায়ালিন-বিহীন (non-myelinated) নার্ভতন্তুর জাল বর্তমান। শেষোক্ত নার্ভজাল পরবর্তী স্তরের ঝিল্লীপেশী (muscularis mucosae) ও গ্রন্থিগুলিকে নিয়ন্ত্রণ করে এবং শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর গ্রাহকগুলির (receptors) সহিত পেশীস্তরের নার্ভজালের যোগাযোগ রাখে। পাইলোরিক অংশ ব্যতীত অন্যত্র এই স্তরে গ্রন্থি নাই।

4. **শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (mucous membrane) :** পাকস্থলীর বিবর-সন্নিহিত এই স্তরটির বাহিরের দিকে **ঝিল্লীপেশী** নামক অনৈচ্ছিক পেশীর পাতলা স্তর বর্তমান : ইহা হইতে পেশীতন্তুর পাতলা গুচ্ছ শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর বিবরমুখী পৃষ্ঠের দিকে গিয়াছে। ঝিল্লীপেশী উক্ত ঝিল্লীর সঞ্চালন নিয়ন্ত্রণ করে। শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর যোগকলায় গঠিত জমি বা ধাত্রে অবস্থিত বহু নলাকার পাকস্থলী-গ্রন্থির (gastric glands) প্রণালী পাকস্থলীর বিবরে গিয়া পড়ে। শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর মুক্ত পৃষ্ঠটি একসারি স্তম্ভাকার (columnar) শ্লেষ্মাক্ষরণকারী কোষ দিয়া গঠিত। ইহাদের ক্ষরিত শ্লেষ্মা ঝিল্লীর বিবর-সন্নিহিত পৃষ্ঠকে ঢাকিয়া রাখে।

পাকস্থলী-গ্রন্থির সংখ্যা তিন কোটিরও বেশি। ঝিল্লীপেশীর নিকটে প্রত্যেক গ্রন্থির প্রান্ত রুদ্ধ ও ঈষৎ স্ফীত ; অন্য প্রান্তটি শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর পৃষ্ঠে একটি অগভীর গর্তে (gastric pit) আসিয়া পড়ে। ঐরূপ প্রতি গর্তে কয়েকটি গ্রন্থির প্রণালী উন্মুক্ত হয় এবং গর্তটি পাকস্থলীর বিবরে উন্মুক্ত হয়। পাকস্থলীর অংশভেদে গ্রন্থিগুলির আকারে পার্থক্য আছে (চিত্র 6.3)। হৃৎ-মুখী (cardiac) অংশের মোটামুটি হ্রস্ব, জটিল ও শাখাযুক্ত পাকস্থলী-গ্রন্থিগুলির গাত্রে প্রধানতঃ একসারি নাতিদীর্ঘ, স্তম্ভাকার, পাংশুবর্ণ (pale) শ্লেষ্মাকোষ (mucous cell) বৈশিষ্ট্যবিহীন ভিত্তিঝিল্লীর (basement membrane) উপরে সজ্জিত থাকে। পাইলোরিক অংশের হ্রস্ব ও জটিল গ্রন্থিগুলির গাত্রে অনুরূপ স্তম্ভাকার কোষের সারিটির অধিকাংশ কোষই শ্লেষ্মাকোষ এবং অল্প কয়েকটি পেপ্‌সিনোজেন-ক্ষরণকারী পেপ্‌টিক কোষ। ঠিক পাইলোরাসে গ্রন্থিগুলি অপেক্ষাকৃত দীর্ঘ ও ঝিল্লীপেশী পর্যন্ত বিস্তৃত। পাইলোরাস-সন্নিহিত অংশের গ্রন্থিগুলির গাত্রে কয়েকটি দানাদার ও কলসাকার (flask-shaped) **জি-কোষ** (G cell) দেখা যায়। ইহাদের বিবরমুখী, সংকীর্ণ ও মুক্ত পৃষ্ঠের কোষঝিল্লীতে কতকগুলি অপেক্ষাকৃত হ্রস্ব ও অনিয়মিত আকারের মাইক্রোভিলাস (microvillus) থাকে। জি-কোষ রক্তে গ্যাস্ট্রিন নামক হর্মোন ক্ষরণ করে। পাকস্থলীর দেহ (body) ও ফাণ্ডাসে গ্রন্থিগুলি অপেক্ষাকৃত সুগঠিত, সরল ও প্রায় 1 মিলিমিটার পর্যন্ত দীর্ঘ ; ইহাদের গাত্রে শ্লেষ্মাকোষ,

চিত্র **6.3.** পাকস্থলী-গ্রন্থির আণুবীক্ষণিক গঠন (সম্মুখের পৃষ্ঠায়)। A-ফাণ্ডাসের গ্রন্থি ; B-পাইলোরিক অংশের গ্রন্থি, 1-স্তম্ভাকার কোষ, 2-গ্রন্থির শ্লেষ্মাকোষ ; 3-প্যারায়েটাল কোষ ; 4-প্যারায়েটাল কোষসংলগ্ন অন্তরকোষ প্রণালী ; 5-পেপটিক কোষ।


1
2
3
4
5
A
B

পেপ্‌টিক কোষ ও প্যারায়েটাল (**অক্সিন্টিক**) কোষ দেখা যায়। **শ্লেষ্মাকোষ** নাতিদীর্ঘ স্তম্ভাকার ; তাহাদের সাইটোপ্লাজম লঘুবর্ণ (lighter) এবং নিউক্লিয়াসটি সাইটোপ্লাজমে শ্লেষ্মাকণার ভিড়ে চ্যাপটা হইয়া কোষের পাদদেশে অবস্থান করে। **পেপ্‌টিক বা চীফ কোষ** পিরামিডসদৃশ বা স্তম্ভাকার, কিন্তু তাহাদের নিউক্লিয়াস গোলাকার ও কোষের তলার দিকে অবস্থিত ; সাইটোপ্লাজমে বহু দণ্ডাকার মাইটোকনড্রিয়া ও এনডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম এবং কোষের মুক্ত প্রান্তের নিকটে বহু দানা বর্তমান। **প্যারায়েটাল কোষ** বৃহৎ, গোলাকার বা ডিম্বাকার এবং ইওসিন, ফুক্সিন প্রভৃতি রঞ্জকের দ্বারা সুন্দর রঞ্জিত হয় ; কোষের কেন্দ্রে এক বা একাধিক বৃহৎ ও গোলাকার নিউক্লিয়াস, সাইটোপ্লাজমে বহু মাইটোকনড্রিয়া, গলগি-জাল ও সূক্ষ্ম প্রণালিকা এবং প্রণালিকাগুলির বিবরে কোষের বহু মাইক্রোভিলাই দেখা যায়। কোষের মুক্ত পৃষ্ঠেও বহু মাইক্রোভিলাই থাকায় ঐ প্রান্তটিকে সরেখ (striated) দেখায়। প্যারায়েটাল কোষে দস্তা-ঘটিত কার্বনিক অ্যানহাইড্রেজ এনজাইমটি থাকে। প্যারায়েটাল কোষগুলি পেপ্‌টিক কোষ ও শ্লেষ্মাকোষে গঠিত সারির বাহিরের দিকে গ্রন্থিগাত্রে সংলগ্ন থাকে এবং তাহাদের ক্ষরিত রস উক্ত সারির কোষগুলির ফাঁকে ফাঁকে অবস্থিত সূক্ষ্ম অন্তরকোষ প্রণালী দিয়া আসিয়া গ্রন্থির বিবরে পড়ে।

পেপ্‌টিক ও প্যারায়েটাল কোষগুলি যথাক্রমে এনজাইম ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ক্ষরণ করে। ফাণ্ডাস ও দেহ অংশের গ্রন্থিগুলির গাত্রে কতকগুলি দানাদার ও চ্যাপটা আবরক (epithelial) কোষ গ্রন্থির ভিত্তিঝিল্লীর উপরে উহার প্রায় সমান্তরালভাবে শুইয়া থাকে এবং তাহাদের কয়েকটি বাহু গ্রন্থিগাত্রের গভীরে চারিপাশে ছড়াইয়া গ্রন্থির বিবরকে যেন বৃত্তাকারে ঘিরিয়া রাখে, কিন্তু এই কোষগুলির কোনও বাহুই বিবর পর্যন্ত পৌঁছায় না। সম্ভবতঃ এই কোষগুলি পাকস্থলীর স্ফীতির ফলে টান পড়িয়া উদ্দীপিত হয়।

ফাণ্ডাসের পাকস্থলী-গ্রন্থিগুলির মুখের কাছে ও প্রথমাংশে বহু শ্লেষ্মাকোষ এবং তাহাদের গাত্রসংলগ্ন বহু প্যারায়েটাল কোষ দেখা যায়। গ্রন্থির মধ্যভাগে প্রধানতঃ বহু শ্লেষ্মাকোষ ও অপেক্ষাকৃত কম সংখ্যায় প্যারায়েটাল কোষ থাকে। গ্রন্থির বদ্ধ শেষপ্রান্তে প্যারায়েটাল কোষ সংখ্যায় খুব কম ; এখানে প্রধানতঃ পেপ্‌টিক কোষ থাকে।

6.3 পাকস্থলী-রসের উপাদান (composition of gastric juice)

পাকস্থলীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে অবস্থিত গ্রন্থিগুলি হইতে ক্ষরিত পাকস্থলী-

রস (gastric juice) মোটামুটি পরিষ্কার, ঈষৎ পীতবর্ণ, তীব্র অম্লধর্মী ও লঘু (dilute) জলীয় রস।

দৈনিক পরিমাণ: 1-1.5 লিটার, আপেক্ষিক গুরুত্ব (specific gravity): 1.002-1.005; পি-এইচ (pH): 0.9-1.3; জল: 99.4%; কঠিন পদার্থ: 0.6%; অজৈব লবণ: 0.17%; হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড: 0.5-0.6%; জৈব উপাদান: 0.4%।

পাকস্থলী-রসের অজৈব লবণগুলির মধ্যে সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতি ধাতুর ক্লোরাইড, ফসফেট প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য। তন্মধ্যে সোডিয়াম ও পটাসিয়ামের ক্লোরাইডগুলিই পরিমাণে সর্বাধিক।

প্যারায়েটাল কোষ হইতে ক্ষরিত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড পাকস্থলী-রসটির অম্লত্বের প্রধান কারণ। শূন্য পাকস্থলীতে ক্ষরিত রসে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের পরিমাণ প্রতি লিটারে 40 মিলি-ইকুইভ্যালেণ্ট বা আরও কম; প্রভূত রসক্ষরণের সময়ে ইহা বাড়িয়া লিটার প্রতি 165 মিলি-ইকুইভ্যালেণ্ট পর্যন্ত হয়। হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড প্রধানতঃ মুক্ত অবস্থায় এবং অংশতঃ প্রোটিনের সহিত যৌগের আকারে থাকে।

জৈব উপাদানগুলির মধ্যে শ্লেষ্মা (mucus) ও এনজাইমগুলিই মুখ্য। পাকস্থলী-গ্রন্থির শ্লেষ্মাকোষ হইতে ক্ষরিত শ্লেষ্মা শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর পৃষ্ঠস্তরের (surface layer) শ্লেষ্মাকোষ হইতে ক্ষরিত শ্লেষ্মার তুলনায় অধিকতর দ্রাব্য ও স্বচ্ছ। শ্লেষ্মার অণু প্রোটিন ও মিউকোপলিস্যাকারাইডের সমন্বয়ে গঠিত। এনজাইমগুলির মধ্যে পেপ্‌সিন, রিনিন (rennin), লাইপেজ, জেলাটিনেজ, লাইসোজাইম এবং ক্যাস্‌ল্‌-বর্ণিত আভ্যন্তরীণ উপাদান (Castle's intrinsic factor) নামক একটি শ্লেষ্মা-প্রোটিন (mucoprotein) উল্লেখ্য। পেপ্‌সিন, রিনিন ও জেলাটিনেজ প্রোটিন-পাককারী (proteolytic) এনজাইম, লাইপেজ চর্বিপাককারী (lipolytic) এনজাইম এবং ক্যাস্‌ল্‌-বর্ণিত আভ্যন্তরীণ উপাদান বি$_{12}$-এর শোষণসহায়ক এনজাইম। লাইসোজাইম জীবাণুর কোষপ্রাচীরের কার্বোহাইড্রেটকে জলবিশ্লিষ্ট (hydrolyzed) করিতে পারে। পেপ্‌সিন ও রিনিন পেপ্‌টিক বা চীফ কোষ হইতে যথাক্রমে নিষ্ক্রিয় পেপ্‌সিনোজেন ও প্রো-রিনিন আকারে ক্ষরিত হয় এবং পাকস্থলীর বিবরে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সংস্পর্শে জলবিশ্লিষ্ট হইয়া সক্রিয় এনজাইমে পরিণত হয়। মানুষের পাকস্থলীতে তিনপ্রকার পেপ্‌সিনোজেন হইতে পেপ্‌সিন I, পেপ্‌সিন II ও পেপ্‌সিন III নামক তিনপ্রকার সক্রিয় পেপ্‌সিন উৎপন্ন হয়। লাইপেজ এনজাইমটি পাকস্থলী-রসেই ক্ষরিত হয় কিনা এবং পাকস্থলীতে তাহার

কোনও ভূমিকা আছে কিনা, সঠিক জানা নাই। রিনিন বাছুরের পাকস্থলীতে আছে, কিন্তু মানুষের নাই।

6.4 পাকস্থলী-রসের ক্রিয়া (functions of gastric juice)

1. প্রোটিনের পরিপাক : পাকস্থলী-রসের হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড, পেপ্‌সিন, রিনিন ও জেলাটিনেজের ক্রিয়ায় প্রোটিনের পরিপাক ঘটে।

(a) পেপ্‌সিনের ক্রিয়া : পেপ্‌টিক কোষ হইতে ক্ষরিত নিষ্ক্রিয় পেপ্‌সিনোজেন পাকস্থলীর বিবরে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের প্রভাবে জল-বিশ্লিষ্ট হইয়া সক্রিয় পেপ্‌সিনে পরিণত হয় ; অম্লধর্মী পরিবেশে পেপ্‌সিন নিজেও পেপ্‌সিনোজেনের জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া পেপ্‌সিন উৎপন্ন করিতে পারে। তীব্র অম্লধর্মী পরিবেশে (পি-এইচ 1.0-3.2) পেপ্‌সিন প্রোটিনের জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া প্রোটিওস ও পেপ্‌টোন উৎপাদন করে—বস্তুতঃ অধিকাংশ ক্ষেত্রে প্রথমে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের ক্রিয়ায় প্রোটিন অ্যাসিড-মেটাপ্রোটিনে পরিণত হয় এবং শেষোক্ত বস্তুটি পেপ্‌সিনের দ্বারা জলবিশ্লিষ্ট হইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র পেপ্‌টোনে ভাঙ্গিয়া পড়ে। যে সকল পেপ্‌টাইড বন্ধনী ফিনাইলঅ্যালানিন, টাইরোসিন, ট্রিপ্‌টোফ্যান প্রভৃতি অ্যারোম্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গের সহিত অথবা মেথিওনিন বা লিউসিনের কার্বক্সিল বর্গের সহিত দ্বিতীয় একটি অ্যারোম্যাটিক বা ডাইকার্বক্সিলিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গকে যুক্ত করে, সেইরূপ পেপটাইড বন্ধনীই পেপ্‌সিনের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হয়। ইহা ছাড়া পেপ্‌সিন দুধের তঞ্চন (coagulation) ঘটায়।

(b) রিনিনের ক্রিয়া : নিষ্ক্রিয় প্রো-রিনিন পাকস্থলীর বিবরে আসিয়া হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের প্রভাবে জলবিশ্লিষ্ট হইয়া সক্রিয় রিনিন উৎপন্ন করে। পাকস্থলীর অম্লধর্মী পরিবেশে (পি-এইচ 4-4.5) রিনিন দুধের প্রোটিন কেসিনের অণুতে অ্যারোম্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংলগ্ন পেপ্‌টাইড বন্ধনীকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া জলদ্রাব্য প্যারাকেসিন এবং ছানার জলের প্রোটিন উৎপন্ন করে। প্যারাকেসিন অবিলম্বে ক্যালসিয়াম আয়নের সহিত মিলিয়া অদ্রাব্য ক্যালসিয়াম প্যারাকেসিনেট বা ছানার আকারে অধঃক্ষিপ্ত (precipitated) হয় : ঐ ছানা তরল দুধের তুলনায় অধিকক্ষণ পাকস্থলীতে থাকিয়া অন্যান্য প্রোটিন-পাককারী এনজাইমের সাহায্যে সহজেই পরিপাক হয়। ছানার জলের প্রোটিনটি প্রোটিওসের মত ক্ষুদ্রাণুবিশিষ্ট হওয়ায় দ্রবীভূত অবস্থাতেই থাকিয়া যায়। বাছুরের পাকস্থলীতে রিনিন থাকিলেও মানুষের

পাকস্থলীতে ইহার অভাব আছে, সেজন্য শেষোক্ত ক্ষেত্রে রিনিনের পরিবর্তে পেপ্‌সিন অথবা অগ্ন্যাশয়-রসের কাইমোট্রিপ্‌সিনের ক্রিয়ায় কেসিন প্যারা-কেসিনে পরিণত হইয়া দুধ তঞ্চিত হয়।

(c) **জেলাটিনেজের ক্রিয়া :** জেলাটিনেজ জেলাটিন নামক প্রোটিনকে আংশিক পরিপাক করিয়া পেপ্‌টোন ও পলিপেপ্‌টাইড উৎপন্ন করে।

2. **কার্বোহাইড্রেটের পরিপাক :** পাকস্থলী-রসে কার্বোহাইড্রেট-পাককারী এনজাইমের অভাব আছে। কিন্তু পাকস্থলীতে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের প্রভাবে কিছু সুক্রোজ জলবিশ্লিষ্ট হইয়া গ্লুকোজ ও ফ্রুক্‌টোজে পরিণত হয়। তাহা ছাড়া উক্ত অ্যাসিড খাদ্যের সহিত মিশ্রিত টায়ালিনকে নিষ্ক্রিয় করে ; অবশ্য বহুক্ষণ পর্যন্ত পাকস্থলীতে খাদ্যপিণ্ডের (bolus) কেন্দ্রে লালার টায়ালিনের ক্রিয়ায় স্টার্চের পরিপাক চলিতে পারে।

3. **ফ্যাট বা স্নেহপদার্থের পরিপাক :** লাইপেজ এনজাইমটি ফ্যাট বা চর্বিকে পরিপাক করিতে পারে। কিন্তু পাকস্থলীতে লাইপেজের পরিমাণ সামান্য, পাকস্থলীর তীব্র অম্লধর্মী পরিবেশে উহার সক্রিয় থাকারও সম্ভাবনা নাই ; তাহা ছাড়া পাকস্থলীতে পিত্তের অভাব থাকায় সেখানে ফ্যাট বা স্নেহ-পদার্থের পরিপাক দুঃসাধ্য।

4 **ভিটামিন বি$_{12}$ শোষণ :** পাকস্থলী-রসে ক্ষরিত **ক্যাসল্‌-বর্ণিত আভ্যন্তরীণ উপাদান** (Castle's intrinsic factor) নামক শ্লেষ্মা-প্রোটিনটি (mucoprotein) খাদ্যের ভিটামিন বি$_{12}$ অণুর সহিত মিলিয়া যে যৌগ উৎপাদন করে তাহা সম্ভবতঃ ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষঝিল্লীর কোনও বাহক (carrier) প্রোটিনের সহিত বি$_{12}$ ভিটামিনটিকে যুক্ত হইতে সাহায্য করিয়া ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে বি$_{12}$-এর শোষণ (absorption) সম্ভবপর করে। **পার্নিশিয়াস অ্যানিমিয়া** নামক মারাত্মক রক্তাল্পতা রোগে পাকস্থলী-রসে আভ্যন্তরীণ উপাদানের অভাব থাকে, ফলে ভিটামিন বি$_{12}$ শোষণ ব্যর্থ হইয়া রক্তাল্পতা জন্মায়।

5. **জীবাণুনাশক ক্রিয়া :** হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড খাদ্যের সহিত আগত বহু রোগজীবাণুকে (যথা, কলেরার জীবাণু) নিষ্ক্রিয় ও বিনষ্ট করে। পাকস্থলী-রসের লাইসোজাইমও কক্কাই ও ব্যাসিলাই-জাতীয় কয়েক প্রকার রোগজীবাণুকে অল্পস্বল্প বিনষ্ট বা নিষ্ক্রিয় করিতে পারে।

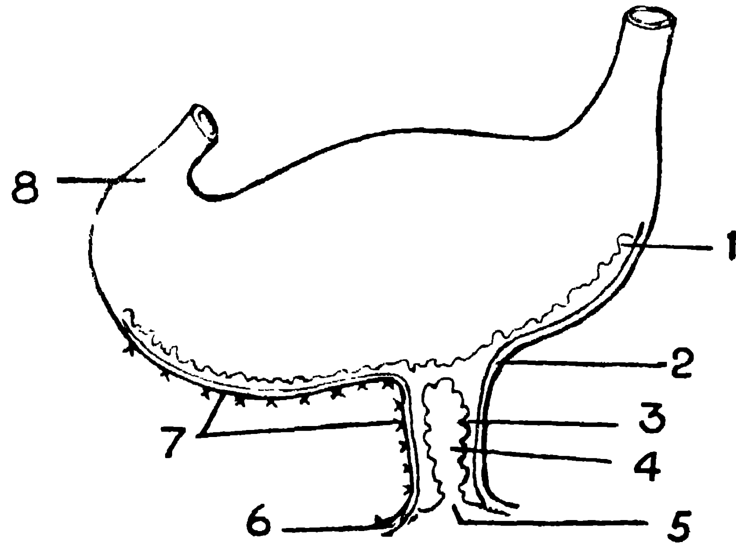
6. **রেচন (excretion) :** কয়েকটি ভারি ধাতু ও অ্যালক্যালয়েড পাকস্থলী-রসের সহিত পৌষ্টিক নালীতে আসিয়া মলে বাহির হয়।

6.5 পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ নিয়ন্ত্রণ (regulation of gastric secretion)

শূন্য পাকস্থলীতে ঘণ্টায় মাত্র 40-50 মিলিলিটার পাকস্থলী-রস ক্ষরিত হয়। আহারের পরে রসক্ষরণ বহুগুণে বৃদ্ধি পায়। আহারের পরে পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ তিনটি পর্যায়ে ঘটে।

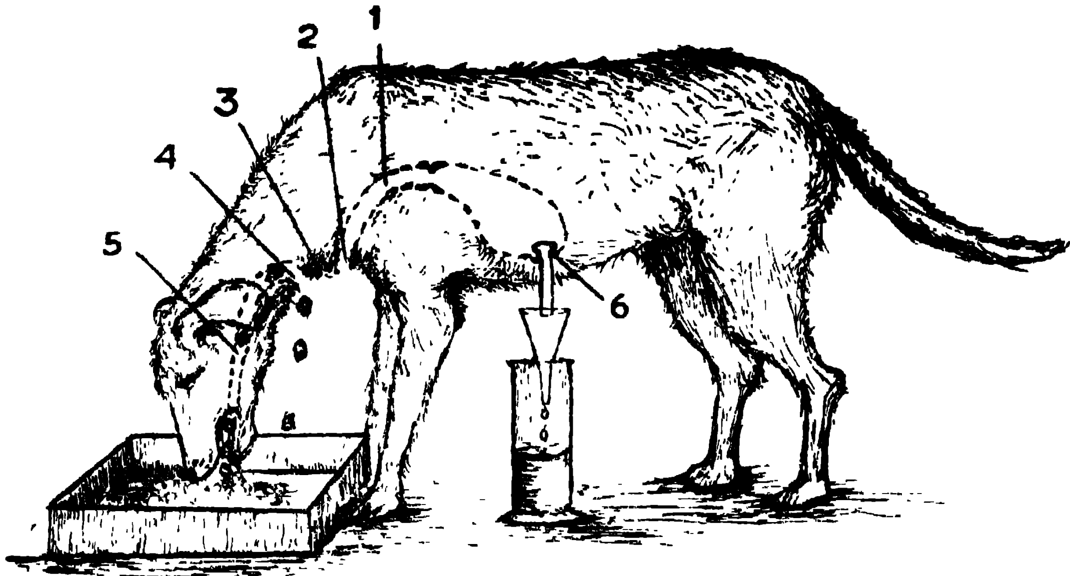
1. শিরঃপর্যায় (cephalic phase) : আহারের পাঁচ মিনিটের মধ্যেই পাকস্থলীতে রসক্ষরণ বাড়ে এবং পরবর্তী বিশ মিনিটব্যাপী শিরঃপর্যায়ে প্রায় 50-100 মিলিলিটার পাকস্থলী-রস ক্ষরিত হয়। এই পর্যায়ে রসক্ষরণ প্রধানতঃ কেন্দ্রীয় নাভর্তন্ত্রের নিয়ন্ত্রণাধীন প্রতিবর্ত ক্রিয়ার (reflex) ফলে ঘটিয়া থাকে। এই রসে প্রভূত পরিমাণে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও পেপ্‌সিন থাকে।

এই পর্যায়ের রসক্ষরণ পরীক্ষার জন্য পাভ্‌লভ্‌ কুকুরের পাকস্থলীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর (mucous membrane) একাংশ কাটিয়া লইয়া তদ্বারা একটি পৃথক থলি নির্মাণ করিয়া উদরপ্রাচীর ভেদ করিয়া তাহার মুখটিকে বাহিরে উন্মুক্ত করিয়া দেন (চিত্র 6.4); এই **পাভ্‌লভ্‌-থলিটির** (Pavlov pouch) বিবরের সহিত মূল পাকস্থলীর বিবরের কোনও যোগ ছিল না, কিন্তু একটি পেশী নির্মিত যোজকের দ্বারা মূল পাকস্থলীর গাত্রের সহিত থলিগাত্রের যোগ ছিল এবং ঐ যোজক বাহিয়া রক্তবাহ ও নার্ভ পাভ্‌লভ্‌ থলিতে পৌঁছাইত। তাহা ছাড়া পাভ্‌লভ্‌ কুকুরের গ্রাসনালীকে (œsophagus) গলার কাছে প্রায় দ্বিখণ্ডিত করিয়া উভয় খণ্ডকেই দেহের বাহিরে উন্মুক্ত করেন; গ্রাসনালীর এরূপ অস্বাভাবিক প্রবেশপথকে **গ্রাসনালীর ফিশ্চুলা** (œsophageal fistula)



চিত্র 6.4. পাভ্‌লভ্‌-থলি। 1-পাকস্থলীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী; 2-পাকস্থলীর পেশীস্তর, 3-পাভ্‌লভ্‌-থলির শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী; 4-পাভ্‌লভ্‌-থলির বিবর, 5-পাভ্‌লভ্‌-থলির মুখ; 6-উদরপ্রাচীর; 7-অস্ত্রোপচারের সেলাই; 8-পাইলোরিক প্রান্ত।

বলে (চিত্র 6.5)। ঐরূপ কুকুরকে খাওয়াইলে গ্রাসনালীর উপরের খণ্ডের কর্তিত প্রান্ত দিয়া খাদ্য দেহের বাহিরে আসে, পাকস্থলীতে যাইতে পারে না ; এরূপ মিথ্যা আহারের (sham feeding) পরে পাকস্থলীগাত্রে কর্তিত পথ অর্থাৎ পাকস্থলী-ফিশ্চুলার (gastric fistula) সাহায্যে অথবা পাভ্‌লভ্‌-থলির সাহায্যে বাহির হইতেই পাকস্থলীতে রসক্ষরণের তারতম্য পরীক্ষা করা যায়। আবার গ্রাসনালী-ফিশ্চুলা দিয়া গ্রাসনালীর নিম্নাংশে অথবা পাকস্থলী-ফিশ্চুলার পথে পাকস্থলীতে কুকুরের অজ্ঞাতসারে খাদ্য প্রবেশ করাইয়া তাহার প্রভাবে পাভ্‌লভ্‌-থলিতে রসক্ষরণের তারতম্য পরীক্ষা করা যায়।



চিত্র 6.5. গ্রাসনালীর ফিশ্চুলা। 1-গ্রাসনালীর পাকস্থলীগামী নিম্নাংশ, 2-ফিশ্চুলার নিম্নমুখ ; 3-দেহপ্রাচীর, 4-ফিশ্চুলার ঊর্ধ্বমুখ, 5-গ্রাসনালীর গলবিলসংলগ্ন ঊর্ধ্বাংশ ; 6-পাকস্থলী-ফিশ্চুলা।

গ্রাসনালী-ফিশ্চুলাযুক্ত কুকুরকে মিথ্যা আহার করাইলে পাকস্থলীতে খাদ্য প্রবেশ না করিলেও পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ ঘটে, কিন্তু দশম করোটিক (ভেগাস) নার্ভ কাটিয়া দিয়া এভাবে খাওয়াইলে পাকস্থলী-রস ক্ষরিত হয় না। দ্বিতীয়তঃ, ভেগাস নার্ভের পাকস্থলী-গামী নার্ভতন্তুগুলিকে তড়িৎ-প্রয়োগে উদ্দীপিত করিলে শূন্য পাকস্থলীতেও রসক্ষরণ হয়। তৃতীয়তঃ, অ্যাট্রোপিন প্রয়োগে ভেগাসের পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলিকে নিষ্ক্রিয় করিয়া দিলে শিরঃ-পর্যায়ের রসক্ষরণ নিবারিত হয়। ইহা হইতে সিদ্ধান্ত করা যায় যে, আহারকালে খাদ্যের স্বাদ, গন্ধ ও দৃশ্য যথাক্রমে জিহ্বা, নাসিকা ও চক্ষুর গ্রাহকগুলিকে (receptors) উদ্দীপিত করিলে ঐসকল গ্রাহক হইতে বিভিন্ন অন্তর্মুখ

(afferent) নার্ভ বাহিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) মস্তিষ্কে পৌঁছিয়া প্রতিবর্ত ক্রিয়ার সৃষ্টি করে ; ফলে মস্তিষ্ক হইতে ভেগাসের পরাসমবেদী নার্ভতন্তু বাহিয়া বিভবপ্রবাহ পাকস্থলীর গ্রন্থিগুলিতে গিয়া তাহাদের রসক্ষরণে উদ্দীপিত করে। খাদ্য পাকস্থলীতে প্রবেশ করিলে তাহার স্পর্শে অথবা পাকস্থলীর খাদ্যজনিত স্ফীতির দরুণ টান পড়িয়া পাকস্থলীগাত্রের গ্রাহকগুলির উদ্দীপনা ঘটিয়াও এরূপ প্রতিবর্ত ক্রিয়ার সৃষ্টি হয় (সারণী 6.1)।

সারণী 6.1. পাকস্থলী-রস ক্ষরণের কয়েকটি প্রতিবর্ত ।

উদ্দীপনা	গ্রাহক	অন্তর্মুখ নার্ভ	নার্ভকেন্দ্র	বহির্মুখ নার্ভ	প্রতিবর্ত
খাদ্যের স্বাদ	জিহ্বার স্বাদকোষ	সপ্তম, নবম করোটিক নার্ভ	সুষুম্নাশীর্ষক	দশম করোটিক নার্ভ	সহজাত
খাদ্যের স্পর্শ	পাকস্থলীগাত্রের স্পর্শগ্রাহক	দশম করোটিক নার্ভ	ঐ	ঐ	ঐ
খাদ্যের গন্ধ	নাসারন্ধ্রে গন্ধগ্রাহী নার্ভকোষ	প্রথম করোটিক নার্ভ	গুরুমস্তিষ্ক	ঐ	অভ্যাসনির্ভর
খাদ্যের দৃশ্য	অক্ষিপটে দণ্ড ও শঙ্কু	দ্বিতীয় করোটিক নার্ভ	ঐ	ঐ	ঐ

ইহা ছাড়া লোভনীয় খাদ্য সম্বন্ধে চিন্তা করিলে অথবা ক্রোধ, উত্তেজনা প্রভৃতি মানসিক প্রক্ষোভের (emotion) সময়ে মস্তিষ্ক হইতে ভেগাস নার্ভ বাহিয়া বিভবপ্রবাহ পাকস্থলীতে আসিয়া তাহার রসক্ষরণ বাড়ায়।

2. পাকস্থলী পর্যায় (gastric phase) : খাদ্য পাকস্থলীতে ঢুকিবার আধঘণ্টার মধ্যে এই পর্যায়ের রসক্ষরণ শুরু হইয়া দেড় ঘণ্টার মধ্যে সর্বোচ্চ মাত্রায় পৌঁছায় ; এই পর্যায়ে প্রায় 5 ঘণ্টায় 250 মিলিলিটার পাকস্থলী-রস ক্ষরিত হয় এবং এই রসে যথেষ্ট হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও অপেক্ষাকৃত কম পেপ্‌সিন থাকে। এই পর্যায়ের রসক্ষরণ পাকস্থলীতে খাদ্যের উপস্থিতির উপরে নির্ভর করে। খাদ্যের পরিপাকজাত পেপ্‌টাইড, অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রভৃতি বস্তু পাইলোরিক প্রান্তের পাকস্থলী-গ্রন্থিগুলির গাত্রসংলগ্ন দানাদার ও কলসাকার জি-কোষের (G cell) মুক্ত বিবরমুখী পৃষ্ঠের মাইক্রোভিলাসগুলির প্রত্যক্ষ সংস্পর্শে আসিলে তাহাদের রাসায়নিক ক্রিয়ায় ঐ কোষগুলি উদ্দীপিত হইয়া রক্তে গ্যাস্‌ট্রিন (gastrin) নামক একজাতীয় হর্মোন ক্ষরণ করে। খাদ্যজনিত স্ফীতির জন্য পাকস্থলী-গাত্রের নার্ভজালে (nerve plexus) স্থানীয়

প্রতিবর্তের (local reflex) ফলে এবং ভেগাস-বাহিত নার্ভীয় বিভবপ্রবাহের পরোক্ষ প্রভাবেও গ্যাস্ট্রিনের ক্ষরণ কিছুটা উদ্দীপিত হইতে পারে ; সম্ভবতঃ ভেগাস নার্ভের প্রান্ত হইতে এবং পাকস্থলী-গাত্রের স্থানীয় নার্ভজাল হইতে নিঃসৃত অ্যাসেটাইলকোলিন শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর মধ্যে ব্যাপনের দ্বারা জি-কোষে পৌঁছিয়া গ্যাস্ট্রিনের ক্ষরণ উদ্দীপিত করে। রক্তে ক্ষরিত গ্যাস্ট্রিন পাকস্থলী-গ্রন্থিতে পৌঁছিয়া তাহার রসক্ষরণ ঘটায়। রক্তবাহিত হর্মোনের সহিত পাকস্থলী পর্যায়ের রসক্ষরণের যোগাযোগ সম্বন্ধে কয়েকটি পরীক্ষা নিম্নরূপ।

(*a*) পাভ্‌লভ্ দেখাইয়াছিলেন যে, কুকুরের অজ্ঞাতসারে ফিশ্চুলা দিয়া পাকস্থলীতে অ্যাসিড-মিশ্রিত খাদ্য বা মাংসসার (meat extract) প্রবেশ করাইলে পাকস্থলী-রস ক্ষরিত হয় এবং ভেগাস নার্ভ কাটিয়া দিলেও তাহা চলিতে থাকে ; কিন্তু পাকস্থলীর পাইলোরিক অংশ অপসারণ করিলে উহা বন্ধ হইয়া যায়।

(*b*) এড্‌কিন্‌স্ পাকস্থলীর পাইলোরিক প্রান্তের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর অ্যাসিড-নির্যাস (acid extract) উপবাসী প্রাণীর রক্তে ইন্‌জেক্‌শন দিয়াছিলেন, ফলে ঐ প্রাণীর পাকস্থলী-রস ক্ষরিত হইয়াছিল।

(*c*) কোনও প্রাণীর পাকস্থলীতে রসক্ষরণের সময়ে তাহার রক্ত সংগ্রহ করিয়া সেই রক্তের ঝিল্লী-বিশ্লিষ্ট (dialysed) রস কোনও উপবাসী প্রাণীর রক্তে ইন্‌জেক্‌শন দিলে শেষোক্ত প্রাণীর পাকস্থলীতে রসক্ষরণ ঘটে। অর্থাৎ পাকস্থলী-রস ক্ষরণের সময়ে রক্তে ক্ষরণোদ্দীপক বস্তু থাকে।

(*d*) ফ্যারেল ও আইভি কুকুরের পাকস্থলীর একাংশ কাটিয়া লইয়া সেটিকে উদরপ্রাচীরে অধিরোপণ (transplant) করেন ; অধিরোপিত পাকস্থলী-খণ্ডের কোনও নার্ভসংযোগ ছিল না। কিন্তু রক্তের মাধ্যমে উহার সহিত মূল পাকস্থলীর যোগাযোগ ছিল। অতঃপর মূল পাকস্থলীতে খাদ্য প্রবেশ করিলে অধিরোপিত পাকস্থলী-খণ্ড হইতেও রসক্ষরণ ঘটিল। অতএব মূল পাকস্থলী হইতে নিশ্চয়ই কোনও রাসায়নিক পদার্থ রক্ত দিয়া অধিরোপিত খণ্ডটিতে গিয়া তাহাকে উদ্দীপিত করিয়াছিল।

সাম্প্রতিক কালে মানুষের পাইলোরিক শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে G-17 ও G-34 নামে দুইটি গ্যাস্ট্রিন-বর্গীয় পেপ্‌টাইড হর্মোন পাওয়া গিয়াছে। প্রত্যেকটিই দুই আকারে থাকিতে পারে—গ্যাস্ট্রিন I বা গন্ধকবর্জিত আকার এবং গ্যাস্ট্রিন II বা গন্ধকযোগ (sulfated) আকার। এসকল গ্যাস্ট্রিন-বর্গীয় হর্মোন (*i*) পাকস্থলী-গ্রন্থি হইতে অ্যাসিড, পেপ্‌সিন ও ক্যাস্‌ল্-বর্ণিত

আভ্যন্তরীণ উপাদানের ক্ষরণ ঘটায় এবং (*ii*) পাকস্থলীগাত্রের পেশীর টান (tone) ও সংকোচন বাড়ায়। G-17 সম্ভবতঃ পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ নিয়ন্ত্রণে অন্যান্য আকারের গ্যাস্ট্রিন অপেক্ষা অধিক ভূমিকা গ্রহণ করে।

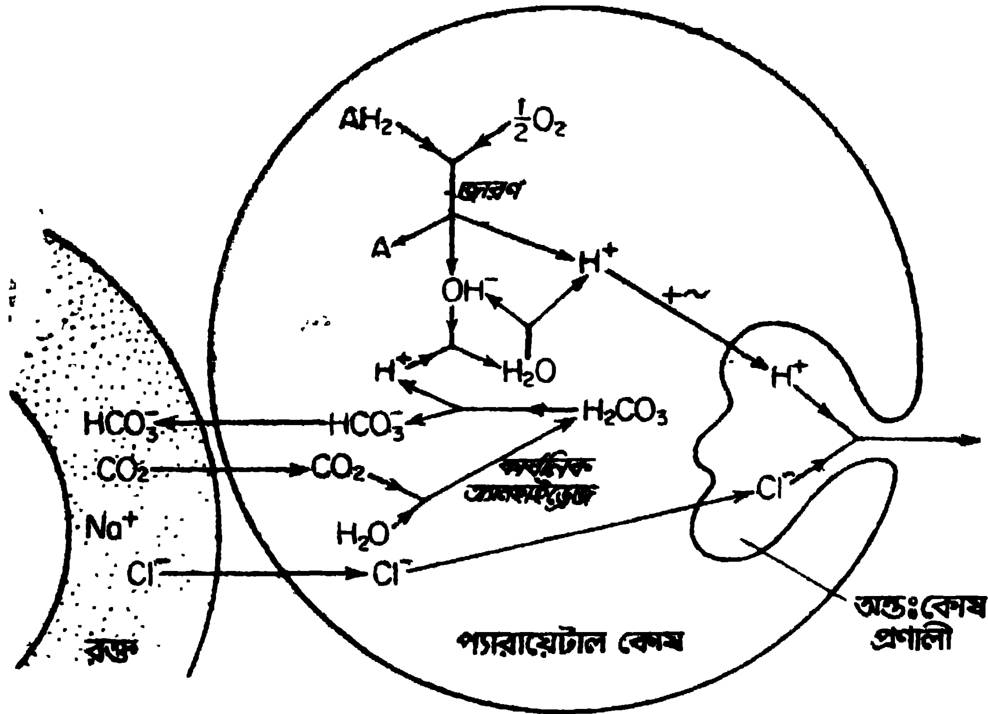
পাকস্থলীতে অ্যাসিড জমিয়া পাইলোরিক প্রান্তের সংস্পর্শে আসিলে গ্যাস্ট্রিনের ক্ষরণ নিবারিত হয়, ফলে পাকস্থলী-রসের ক্ষরণও কমিয়া যায়। সাম্প্রতিক পরীক্ষা-নিরীক্ষা হইতে মনে হয়, অ্যাসিডের প্রত্যক্ষ সংস্পর্শে আসিলে পাকস্থলী ও অন্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর ডি-কোষ (D cell) নামক দানাদার কোষগুলি উদ্দীপিত হয় এবং তাহাদের দীর্ঘ বাহুগুলির প্রান্ত হইতে ক্ষরিত **সোম্যাটোস্ট্যাটিন** (somatostatin) নামক হর্মোন কলারস দিয়া ব্যাপনের মাধ্যমে জি-কোষগুলিতে পৌঁছিয়া তাহাদের গ্যাস্ট্রিন ক্ষরণ নিবারণ করে।

3. **আন্ত্রিক পর্যায় (intestinal phase) :** ক্ষুদ্রান্ত্রে খাদ্য প্রবেশ করিলে তাহার দ্বারা পাকস্থলীর রসক্ষরণ প্রভাবিত হয়। একদিকে খাদ্যের পরিপাক-জাত পেপ্‌টাইড ও অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির সংস্পর্শে গ্রহণীর (duodenum) শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে সম্ভবতঃ **এন্টেরো-অক্সিন্টিন** (entero-oxyntin) নামক একটি হর্মোন রক্তে ক্ষরিত হয় এবং পাকস্থলীতে পৌঁছিয়া অ্যাসিডের ক্ষরণ বাড়ায়—এভাবে কয়েক ঘণ্টায় প্রায় 250 মিলিলিটার পর্যন্ত পাকস্থলী-রস ক্ষরিত হইতে পারে। অন্যদিকে খাদ্যের শর্করা ও ফ্যাট (স্নেহপদার্থ) ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রবেশ করিলে তাহাদের প্রভাবে গ্রহণী ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের (jejunum) শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে **গ্যাস্ট্রিক ইন্‌হিবিটরি পেপ্‌টাইড** (জিআইপি, GIP) নামক একটি পেপ্‌টাইড রক্তে ক্ষরিত হয় : ইহা পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ কমাইয়া দেয়। খাদ্যের সহিত মিশ্রিত অ্যাসিডের প্রভাবে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্র হইতে **সিক্রিটিন** (secretin) নামক পেপ্‌টাইড হর্মোনটি রক্তে ক্ষরিত হয় ; ইহাও পাকস্থলীর রসক্ষরণ কমায়। মূত্রেও **ইউরোগ্যাস্‌ট্রোন** নামক একটি বস্তু নিঃসৃত হয় ; রক্তে ঐ বস্তুটি ইনজেকশন দিলে পাকস্থলীর সঞ্চালন ও রসক্ষরণ কমিয়া যায়।

6.6 হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের উৎস (origin of HCl)

পাকস্থলী-গ্রন্থির প্যারায়েটাল (অক্সিণ্টিক) কোষগুলি হইতেই হাইড্রো-ক্লোরিক অ্যাসিড ক্ষরিত হয়। অ্যাসিড ক্ষরণের জন্য কোষগুলির সজীবতা ও সক্রিয় ভূমিকা অপরিহার্য—অক্সিজেনের অভাবে বা ডাইনাইট্রোফেনল প্রয়োগে প্যারায়েটাল কোষগুলির জৈব ক্রিয়া ব্যাহত হইলে অ্যাসিড ক্ষরণ বন্ধ

হয়। প্যারায়েটাল কোষের মধ্যে বহু সূক্ষ্ম প্রণালিকা (অন্তঃকোষ প্রণালিকা, (intracellular canaliculi) থাকে। ইহাদের বিবর সর্বদাই অম্লধর্মী এবং ইহারা পাকস্থলী-গ্রন্থির প্রণালীতে উন্মুক্ত হয়। হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড প্রথমে ঐ প্রণালিকার মধ্যেই ক্ষরিত হয়, কোষের সাইটোপ্লাজমে নহে—কোষগুলির সাইটোপ্লাজম সর্বদাই প্রশম (neutral) বা ঈষৎ ক্ষারধর্মী (alkaline)। কোষের প্রণালিকায় অ্যাসিডটির প্রায় 0.165 মোলার গাঢ়ত্বের দ্রবণ ক্ষরিত হয়। কোষগুলিতে দস্তা-ঘটিত কার্বনিক অ্যানহাইড্রেজ এনজাইমটি বর্তমান।



চিত্র 6.6. হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের উৎস। AH_2 : জৈব যৌগ, A : জারিত জৈব যৌগ, + ~ : শক্তি ব্যয় করিয়া ক্ষরণ।

মাইটোকন্ড্রিয়ায় জারণের ফলে অথবা সাইটোপ্লাজমে জলের আয়নী-ভবনের (ionisation) ফলে উৎপন্ন হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) প্যারায়েটাল (অক্সিণ্টিক) কোষের অন্তঃকোষ প্রণালিকায় ক্ষরিত হয়। ঐ সঙ্গেই বৈদ্যুতিক প্রশমতা (electrical neutrality) রক্ষার জন্য সমমাত্রায় ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) ক্ষরিত হয় ; রক্তরসের ক্লোরাইডই ইহার উৎস (চিত্র 6.6)। ফলে অন্তঃকোষ প্রণালিকায় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় এবং পাকস্থলীর শিরার রক্তে ধমনীর রক্তের তুলনায় ক্লোরাইড কমিয়া যায়। উভয় আয়নের গাঢ়তাই রক্তরসের তুলনায় উক্ত প্রণালিকার রসে অধিক এবং কোষগুলিকে

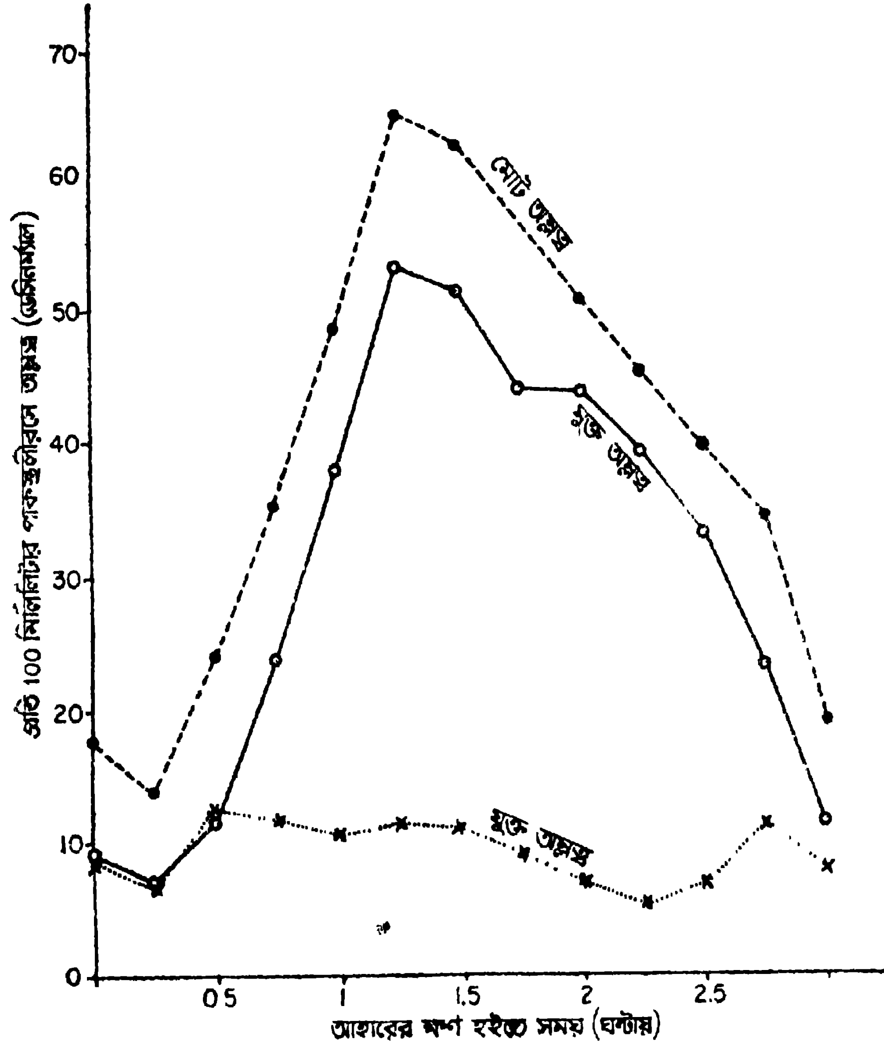
যথেষ্ট শক্তি ব্যয় করিয়াই উহাদের ক্ষরণ করিতে হয় ; এই শক্তি প্রধানতঃ কার্বোহাইড্রেটের বায়ব (aerobic) জারণের ফলে সৃষ্ট উচ্চশক্তিসম্পন্ন ফসফেট-বন্ধনীর ভাঙ্গনের দ্বারাই উৎপন্ন হয়—প্রতি গ্রাম-মোলেকিউল H^+ ক্ষরণ করিতে অর্ধ গ্রাম-মোলেকিউল অক্সিজেন লাগে ।

এভাবে জলের H^+ ক্ষরিত হইয়া গেলে কোষমধ্যে কেবল হাইড্রক্সিল আয়নটি (OH^-) পড়িয়া থাকে ; ফলে কোষের ক্ষারধর্মিতা বাড়িবার আশঙ্কা দেখা দেয় । তৎক্ষণাৎ কোষমধ্যে কার্বনিক অ্যান্‌হাইড্রেজের প্রভাবে কার্বন ডাই-অক্সাইড ও জলের বিক্রিয়া ঘটিয়া কার্বনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় ; কার্বনিক অ্যাসিডের H^+ উক্ত OH^- আয়নের সহিত মিলিয়া ক্ষারত্ব প্রশমিত করে এবং বাইকার্বনেট আয়নটি (HCO_3^-) ক্লোরাইড আয়নের স্থান পূরণের জন্য রক্তে যায় । ফলে পাকস্থলীতে অ্যাসিড ক্ষরণের সময়ে রক্তরসে ও মূত্রে বাইকার্বনেট বাড়ে ; মূত্রের এই ক্ষারত্ববৃদ্ধিকে আহারোত্তর ক্ষারপ্রবাহ (postprandial alkaline tide) বলে । প্যারায়েটাল কোষ কার্বনিক অ্যাসিড উৎপাদনের জন্য আবশ্যকীয় কার্বন ডাই-অক্সাইড অংশতঃ রক্তরস হইতে সংগ্রহ করে । সেজন্য এসময়ে পাকস্থলীর শিরার রক্তে ধমনীর রক্তের তুলনায় কার্বন ডাই-অক্সাইড কম থাকে ।

6.7 পাকস্থলী-রস পরীক্ষা (gastric analysis)

মানুষের পাকস্থলী-রসের উপাদান ও গুণাগুণ পরীক্ষার জন্য রোগীকে পরীক্ষার পূর্বরাত্রে আহারের পরে সকালে কিছু খাইতে না দিয়া প্রথমে তাহাকে একটি নরম, সরু, দীর্ঘ ও দুইমুখ-খোলা রবারের নল (রাইল্‌স্ টিউব, Ryle's tube) নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য পর্যন্ত গিলিতে বলা হয়, অথবা নলটি রোগীর নাক দিয়া ঢুকাইয়া ক্রমশঃ পাকস্থলী পর্যন্ত পাঠানো হয় । ফলে নলটির একপ্রান্ত পাকস্থলীর ফাণ্ডাসে পৌঁছায়, অন্য প্রান্ত নাক বা মুখের বাহিরে থাকে । এবার নল দিয়া অল্প শোষণ করিয়া খাদ্যশূন্য পাকস্থলীর বিবর হইতে কিছুটা তরল বস্তু সংগ্রহ করা হয় । ইহার পরে রোগীকে শুষ্ক টোস্ট ও চা, কিংবা ওটমিলের খিচুড়ি, অথবা 5% অ্যালকোহল খাওয়াইয়া নতুবা হিস্টামিন ইনজেকশন দিয়া প্রতি পনের মিনিট অন্তর তিনঘণ্টা পর্যন্ত পূর্বানুরূপ পাকস্থলীর বিবর হইতে রস সংগ্রহ করা হয় । এভাবে সংগৃহীত পাকস্থলী-রসের নমুনাগুলি পৃথক পৃথক ভাবে পরিস্রাবণের (filtration) পরে নিম্নলিখিত বস্তুগুলির পরিমাণ ও ক্রমাগত পরিবর্তন পরীক্ষা করা হয় (চিত্র 6.7) ।

1. মুক্ত অম্লত্ব (free acidity) : পাকস্থলী-রসে ক্ষরিত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডই ইহার কারণ। প্রত্যেক পরিস্রুত নমুনার একাংশকে টপ্‌ফার-বর্ণিত বিকারক (Topfer's reagent) অর্থাৎ ডাইমিথাইলঅ্যামাইনোঅ্যাজোবেন্‌জিন নামক সংকেতকের (indicator) উপস্থিতিতে ডেসিনর্ম্যাল ক্ষার-দ্রবণ (alkali) দিয়া টাইট্রেশন করিলে মিশ্রণটির পি-এইচ (pH) যখন প্রায় 3.5 দাঁড়ায়



চিত্র **6.7.** আহারের পরে পাকস্থলীতে অ্যাসিড ক্ষরণের ধারা।

তখন সংকেতকের বর্ণ পরিবর্তিত হয়; এই পর্যন্ত টাইট্রেশনের দ্বারা নির্ণীত অম্লত্বকেই মুক্ত অম্লত্ব বলে। স্বাভাবিক শূন্য পাকস্থলীতে প্রতি 100 মিলিলিটার পাকস্থলী-রসে প্রায় 10 মিলিলিটার ডেসিনর্ম্যাল অ্যাসিডের মত মুক্ত অম্লত্ব থাকে এবং আহারের পরে ইহা প্রায় 50-55 মিলিলিটার পর্যন্ত উঠিতে পারে।

2. **যুক্ত অম্লত্ব (combined acidity) :** পাকস্থলীতে উৎপন্ন প্রোটিন-হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড যৌগ, খাদ্যের অল্পাধিক কিণ্বনের (fermentation) ফলে উৎপন্ন ল্যাক্‌টিক, অ্যাসেটিক, প্রোপায়োনিক প্রভৃতি জৈব অ্যাসিড এবং খাদ্য ও পাচকরসের অম্লধর্মী (acidic) ফসফেটগুলিই যুক্ত অম্লত্বের কারণ। স্বাভাবিক শূন্য পাকস্থলীতে প্রতি 100 মিলিলিটার পাকস্থলী-রসে ইহার পরিমাণ প্রায় 10 মিলিলিটার ডেসিনর্ম্যাল দ্রবণের মত ; আহারের পরে ইহার পরিমাণ দ্বিগুণ হইতে পারে। সাধারণতঃ মুক্ত অম্লত্ব ও মোট অম্লত্বের পরিমাণের পার্থক্যকেই যুক্ত অম্লত্ব বলিয়া গ্রহণ করা যায়।

3. **মোট অম্লত্ব (total acidity) :** মুক্ত ও যুক্ত অম্লত্বের যোগফলই মোট অম্লত্ব। পাকস্থলী-রসের পরিস্রুত নমুনাকে ফেন্‌লপ্‌থ্যালিন নামক সংকেতকের উপস্থিতিতে ডেসিনর্ম্যাল ক্ষার-দ্রবণ দিয়া টাইট্রেশন করিলে মিশ্রণের পি-এইচ যখন প্রায় 8.5 দাঁড়ায়, তখন সংকেতকের বর্ণ পরিবর্তিত হয় : এই পর্যন্ত টাইট্রেশনের দ্বারা নির্ণীত অম্লত্বকেই মোট অম্লত্ব বলে। ইহা মুক্ত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড, নানা জৈব অ্যাসিড, অম্লধর্মী ফসফেট, প্রোটিন-হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড যৌগ প্রভৃতির সমষ্টিগত অম্লত্ব। স্বাভাবিক শূন্য পাকস্থলীতে ইহার পরিমাণ প্রতি 100 মিলিলিটার রসে মাত্র 15-20 মিলিলিটার ডেসিনর্ম্যাল অ্যাসিডের মত, কিন্তু আহারের সওয়া হইতে দেড় ঘণ্টা পরে ইহা বাড়িয়া প্রায় 50-70 মিলিলিটারে পৌঁছিতে পারে।

4. **মোট ক্লোরাইড (total chloride) :** মুক্ত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড, প্রোটিন হাইড্রোক্লোরাইড, নানাপ্রকার ধাতব ক্লোরাইড লবণ প্রভৃতি মিলিয়া পাকস্থলী-রসের মোট ক্লোরাইড। পাকস্থলী-রসের পরিস্রুত নমুনায় মোট ক্লোরাইডকে অধঃক্ষিপ্ত (precipitated) করিতে কতখানি সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ প্রয়োজন, তাহা নির্ণয় করিয়া ক্লোরাইডের পরিমাণ নির্ধারণ করা হয়।

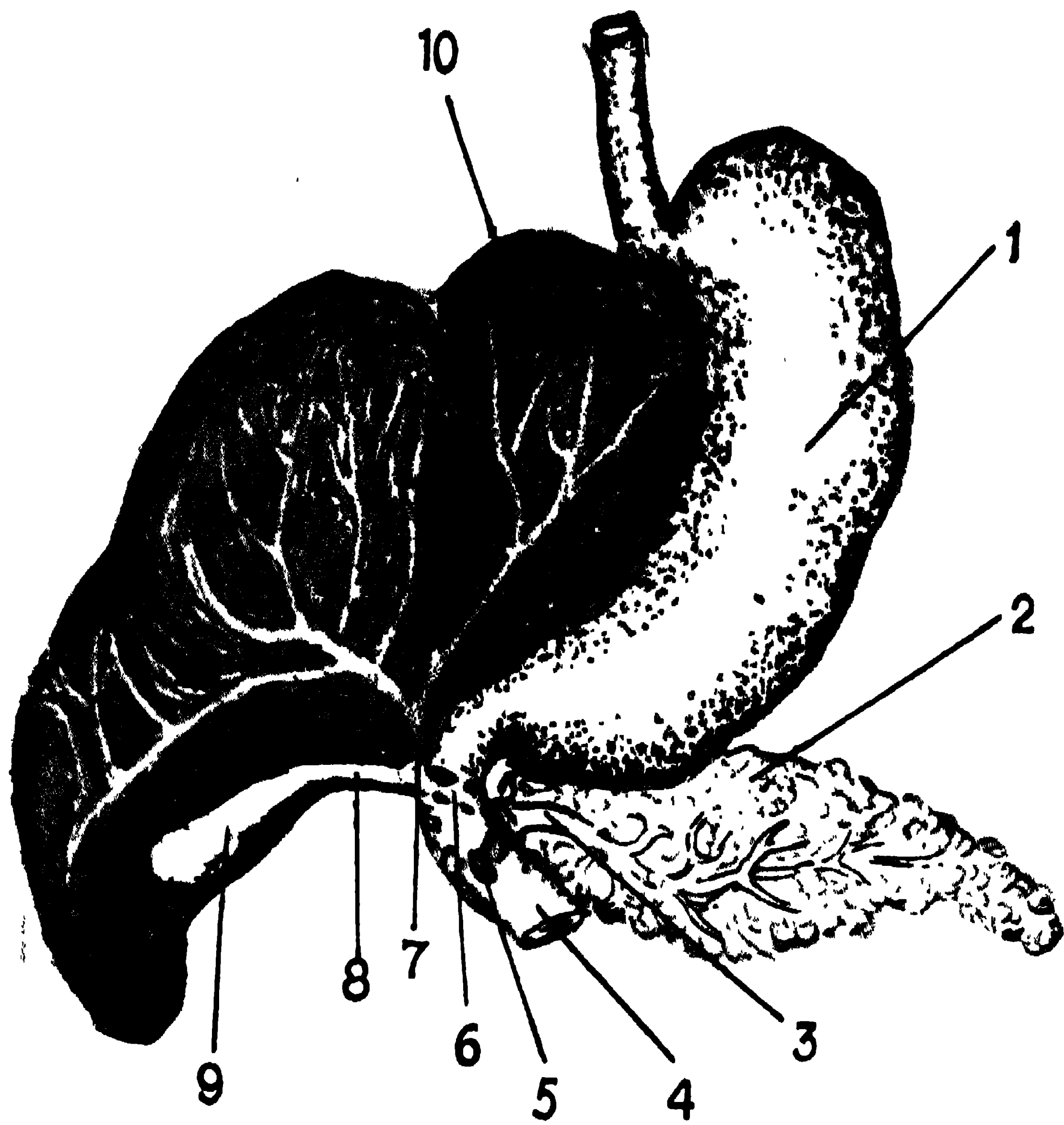
5. **পেপ্‌সিনের ক্রিয়া (peptic activity) :** পাকস্থলী-রসের পরিস্রুত নমুনার সহিত নির্দিষ্ট পরিমাণে তেজস্ক্রিয় আয়োডিন-যুক্ত অ্যালবুমিন মিশাইয়া 37° সেল্‌সিয়স্ তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট কাল রাখিলে পাকস্থলী-রসের পেপ্‌সিন কিছুটা অ্যালবুমিনকে পরিপাক করে ; ট্রাইক্লোরোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড মিশাইয়া অপরিবর্তিত অ্যালবুমিনকে অধঃক্ষিপ্ত করিয়া অবশিষ্ট দ্রবণে তেজস্ক্রিয় আয়োডিনের পরিমাণ সিণ্টিলেশন গণকের (scintillation counter) সাহায্যে নির্ণয় করা হয়। ইহা হইতে পাকস্থলী-রসের দ্বারা অ্যালবুমিনের জলবিশ্লেষের মাত্রা পাওয়া যায়। নির্দিষ্ট পরিমাণ কেলাসিত পেপ্‌সিনের ক্রিয়ায় অ্যাল-

বুমিনের জলবিশ্লেষ অনুরূপভাবেই মাপিয়া উভয় পরীক্ষার ফলাফল তুলনা করিয়া পরীক্ষাধীন পাকস্থলী-রসে পেপ্‌সিনের ক্রিয়া সম্বন্ধে ধারণা করা যায়।

6. বেন্‌জিডিন পরীক্ষা (benzidine test) : পাকস্থলী-রসে রক্তের অস্তিত্ব নির্ণয়ের জন্য পরিস্রুত নমুনাটিকে প্রথমে উত্তপ্ত করিয়া তাহার পরে উহাতে বেন্‌জিডিনের গ্লেসিয়াল অ্যাসেটিক অ্যাসিড-ঘটিত দ্রবণ এবং হাই-ড্রোজেন পার্‌অক্সাইড দ্রবণ মেশানো হয়; রক্তের অস্তিত্ব থাকিলে সবুজ বা নীল রং দেখা দেয়।

7. আফেল্‌ম্যান্‌-বর্ণিত পরীক্ষা (Uffelmann's test) : পাকস্থলী-রসে ল্যাক্‌টিক অ্যাসিডের অস্তিত্ব নির্ণয়ের জন্য পরিস্রুত নমুনায় বেগুনীবর্ণ আফেল্‌ম্যান্‌-বর্ণিত বিকারক মেশানো হয়; পাংশু পীতবর্ণের উদ্ভব ঘটিলে ল্যাক্‌টিক অ্যাসিডের অস্তিত্ব প্রমাণ হয়।

8. জের্মেলিন্‌-বর্ণিত পরীক্ষা (Gmelin's test) : গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডে সিক্ত ফিল্টার পেপারে একফোঁটা পরিস্রুত পাকস্থলী-রস ফেলিলে তাহার চারিদিকে যদি নানা বর্ণের বৃত্ত দেখা দেয়, তবে উক্ত রসে পিত্তরঙ্গক (bile pigments) আছে বলিয়া বোঝা যায়।



চিত্র 7.1. যকৃত, পিত্তাশয় ও পিত্তনালী। 1-পাকস্থলী ; 2-অগ্ন্যাশয় ; 3-অগ্ন্যাশয়ের প্রণালী ; 4-গ্রহণী ; 5-ভ্যাটার-বর্ণিত অ্যাম্পুলার মুখ ;. 6-সাধারণ পিত্তনালী ; 7-যকৃত-নালী ; 8-পিত্তাশয়-নালী ; 9-পিত্তাশয় ; 10-যকৃত।

সপ্তম পরিচ্ছেদ

অগ্ন্যাশয়

7.1 অগ্ন্যাশয়ের অঙ্গসংস্থান (anatomy of pancreas)

অগ্ন্যাশয় প্রায় 18 সেণ্টিমিটার দীর্ঘ গ্রন্থি। উদরগহ্বরে গ্রহণী (duodenum) ও প্লীহার (spleen) মাঝখানে একস্তর যোগকলার (connective tissue) মধ্যে বিরলাবরণ (capsule deficient) অগ্ন্যাশয়ের খণ্ডগুলি ছড়াইয়া আছে। অগ্ন্যাশয়ের প্রশস্ত শির (head) ডানদিকে গ্রহণীর অর্ধবৃত্তাকার কুণ্ডলীর ফাঁকে অবস্থিত এবং উহার সংকীর্ণ পুচ্ছ (tail) বামদিকে প্লীহার নিকট পর্যন্ত বিস্তৃত। অগ্ন্যাশয়ের প্রধান নালীটি (duct) গ্রন্থির দৈর্ঘ্য বরাবর আসিয়া গ্রহণীর নিকটে সাধারণ পিত্ত-নালীর (common bile-duct) সহিত মিলিয়া ভ্যাটার-বর্ণিত অ্যাম্পুলা (ampulla of Vater) নামক একটি ঈষৎ-স্ফীত কক্ষের সৃষ্টি করে (চিত্র 7.1)। অ্যাম্পুলাটি গ্রহণীর মধ্যস্থানে উন্মুক্ত হয় এবং এই সংযোগস্থলে বিবরপথকে ঘিরিয়া থাকে একটি পেশীবলয় (ওডাই পেশীবলয়, sphincter of Oddi)।

7.2 অগ্ন্যাশয়ের আণুবীক্ষণিক গঠন (histology of pancreas)

অগ্ন্যাশয় মিশ্র গ্রন্থি। ইহার একপ্রকার কলা অগ্ন্যাশয়-রস (pancreatic juice) ক্ষরণ করে এবং দ্বিতীয় প্রকার কলা হর্মোন ক্ষরণ করে (চিত্র 7.2)।

অগ্ন্যাশয়ের আলগা যোগকলায় গঠিত জমিতে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র প্রণালীর প্রান্তে আঙ্গুরগুচ্ছের মত সজ্জিত বহু গোলাকার বা ডিম্বাকার থলি অর্থাৎ **কোষ্টক** (acini or alveoli) লইয়া অগ্ন্যাশয়-রস ক্ষরণকারী কলা গঠিত। প্রত্যেক কোষ্টক কৈশিক নালীর (capillaries) জালে বেষ্টিত। কোষ্টকের কেন্দ্রীয় বিবরকে ঘিরিয়া উহার গাত্রে একসারি মাথা-কাটা পিরামিডের মত কোষ (**রসকোষ**, serous cell) ভিত্তিঝিল্লীর (basement membrane) উপরে সজ্জিত থাকে। কোষগুলির মুক্ত প্রান্তে ক্ষুদ্র মাইক্রোভিলাই (microvilli), উক্ত প্রান্তের নিকটে সাইটোপ্লাজমে বহু জাইমোজেন দানা ও একটি সুগঠিত গলগি-অঙ্গ, কোষের পাদদেশের দিকে গোলাকার নিউক্লিয়াস এবং পাদদেশের সাইটোপ্লাজমে দানাযুক্ত এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম ও মাইটোকন্ড্রিয়া থাকে। এনজাইমের অণুগুলি এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলামে সংশ্লেষিত হয় এবং গল্‌গি-অঙ্গে

পৌঁছিয়া একত্রিত হইয়া ঝিল্লী-বেষ্টিত গোলাকার **জাইমোজেন** দানার আকার ধারণ করে। কোষ্টক-সংলগ্ন প্রণালীর গাত্রে প্রধানতঃ একসারি সমমাত্র (cubical) কোষ থাকে। প্রণালীগুলি পরস্পর মিলিয়া ক্রমশঃ বৃহত্তর প্রণালী উৎপন্ন করে এবং পরিণামে অগ্ন্যাশয়ের প্রধান প্রণালীতে পড়ে। কোষ্টকের রসকোষগুলি অগ্ন্যাশয়-রসের এনজাইম ক্ষরণ করে; কোষ্টক-সংলগ্ন ক্ষুদ্র প্রণালীর কোষগুলি জল ও বাইকার্বনেট ক্ষরণ করে।

উল্লিখিত কোষ্টকগুলির চারিপাশে যোগকলার মধ্যে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বহুতল (polyhedral) কোষের অনেকগুলি ডিম্বাকার পুঞ্জ ছড়াইয়া থাকে। এই কোষপুঞ্জগুলিকে **ল্যাংগারহ্যান্‌স্‌-বর্ণিত কোষদ্বীপ** (islets of Langerhans) বলে এবং ইহারাই হর্মোন ক্ষরণকারী কলা। রক্তবাহে সমৃদ্ধ এই কোষদ্বীপ-গুলি কোনও প্রণালীর সহিত যুক্ত নয় এবং ইহাদের কোষে সুস্পষ্ট নিউক্লিয়াস, মাইটোকন্‌ড্রিয়া, এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম ও গল্‌গি-অঙ্গ বর্তমান। কোষগুলি প্রধানতঃ তিন প্রকার: (*a*) **অ্যালফা কোষের** সাইটোপ্লাজমে বহু অ্যালকোহলে-অদ্রাব্য, গোলাকার ও অম্লগ্রাহী (acidophilic) দানা থাকে; দানাগুলি ম্যালোরি বর্ণিত রঞ্জকে (Mallory aniline blue stain) রক্তবর্ণে রঞ্জিত হয়। (*b*) **বিটা কোষের** সাইটোপ্লাজমে অ্যালকোহল-দ্রাব্য ও ক্ষারগ্রাহী (basophilic) দানাগুলি ম্যালোরি-বর্ণিত রঞ্জকে নীলাভ বাদামী (bluish purple) বর্ণে রঞ্জিত হয়। (*c*) **ডেল্‌টা কোষের** দানাগুলি অপেক্ষাকৃত সূক্ষ্ম। অ্যালফা, বিটা ও ডেল্‌টা কোষ হইতে যথাক্রমে গ্লুকাগন, ইনসুলিন ও সোম্যাটোস্ট্যাটিন্‌ হর্মোনগুলি ক্ষরিত হয়।

7.3 অগ্ন্যাশয়-রসের উপাদান (composition of pancreatic juice)

অগ্ন্যাশয়-রস বর্ণহীন, ক্ষারধর্মী ও পরিষ্কার জলীয় দ্রবণ।

দৈনিক পরিমাণ: প্রায় 700 মিলিলিটার; আপেক্ষিক গুরুত্ব (specific gravity): 1.007-1.015; পি-এইচ (pH): 7-8.5, জল: 98.5%, কঠিন পদার্থ: 1.5%; অজৈব লবণ: 1%; জৈব পদার্থ: 0.5%।

অজৈব লবণগুলির মধ্যে সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম, দস্তা প্রভৃতির বাইকার্বনেট, ফস্‌ফেট ও সাল্‌ফেট উল্লেখ্য। সোডিয়াম (Na^+), ক্লোরাইড (Cl^-) ও বাইকার্বনেট (HCO_3^-) আয়নই পরিমাণে সর্বাধিক। বাই-কার্বনেটের জন্যই এই রসের ক্ষারধর্মিতা ও তিক্তকষায় স্বাদ।

জৈব পদার্থ প্রধানতঃ এনজাইম: ট্রিপ্‌সিন, কাইমোট্রিপ্‌সিন, কার্বক্সি-



চিত্র 72. অগ্ন্যাশয়ের আণুবীক্ষণিক গঠন। 1-কোষ্টক; 2-রসকোষ;. 3-প্রণালী; 4-ল্যাংগারহ্যানস্-বর্ণিত কোষদ্বীপ।

পেপ্‌টাইডেজ, কোলাজেনেজ ও ইলাস্টেজ নামক প্রোটিন-পাককারী এনজাইম; স্টার্চ-পাককারী অ্যামাইলপ্‌সিন; চর্বি-পাককারী স্টিয়াপ্‌সিন, ফসপোলাইপেজ ও কোলেস্টেরল এস্টারেজ; নিউক্লিইক অ্যাসিড-পাককারী রাইবোনিউক্লিয়েজ ও ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিয়েজ। প্রোটিন-পাককারী এনজাইমগুলি এবং ফসফোলাইপেজ নিষ্ক্রিয় জাইমোজেন বা প্রো-এনজাইম আকারে ক্ষরিত হয় এবং ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে আসিয়া নানাভাবে সক্রিয় এনজাইমে পরিণত হয়।

7.4 অগ্ন্যাশয়-রসের ক্রিয়া (functions of pancreatic juice)

1. প্রোটিনের পরিপাক: অগ্ন্যাশয়-রসের পাঁচটি প্রোটিন-পাককারী এনজাইম প্রোটিন পরিপাক করে।

(a) **ট্রিপ্‌সিন:** এই এনজাইমটি নিষ্ক্রিয় ট্রিপ্‌সিনোজেন আকারে ক্ষরিত হয়। গ্রহণীতে (duodenum) পৌঁছিয়া ইহা আন্ত্রিক রসের (intestinal juice) এন্টেরোকাইনেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইয়া সক্রিয় ট্রিপ্‌সিন ও এক অণু নিষ্ক্রিয় পেপ্‌টাইড উৎপন্ন করে; ট্রিপ্‌সিন নিজেও আরও ট্রিপ্‌সিনোজেনকে এভাবে ট্রিপ্‌সিনে পরিণত করে। ক্ষারধর্মী পরিবেশে (পি-এইচ প্রায় ৪.0) ট্রিপ্‌সিন প্রোটিন, পেপ্‌টোন প্রভৃতির অণুতে আর্জিনিন, লাইসিন প্রভৃতি ক্ষারধর্মী (basic) অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গের সহিত যুক্ত পেপ্‌টাইড বন্ধনীগুলিকে জলবিশ্লিষ্ট করে, ফলে ঐ সকল অণু ভাঙ্গিয়া ক্ষুদ্রতর পেপ্‌টাইড উৎপন্ন হয়। ট্রিপ্‌সিন পেপ্‌সিনের তুলনায় হিস্টোন, প্রোটামিন প্রভৃতি ক্ষারধর্মী প্রোটিনকে অনেক বেশি পরিপাক করিতে পারে। ট্রিপ্‌সিন রক্ততঞ্চনও (blood coagulation) ঘটাইতে পারে। তাহা ছাড়া ট্রিপ্‌সিন কাইমোট্রিপ্‌সিনোজেন, প্রো-ইলাস্টেজ ও প্রো-কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া যথাক্রমে কাইমোট্রিপ্‌সিন, ইলাস্টেজ ও কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজ নামক সক্রিয় এনজাইম উৎপাদন করে; অগ্ন্যাশয়-রসের নিষ্ক্রিয় ফসফোলাইপেজ-এ এনজাইমটিকেও ইহা অনুরূপভাবে সক্রিয় করে। কিন্তু প্রত্যক্ষভাবে দুধের উপরে ট্রিপ্‌সিনের ক্রিয়া কাইমোট্রিপ্‌সিন অপেক্ষা কম।

(b) **কাইমোট্রিপ্‌সিন:** অগ্ন্যাশয়-রসের নিষ্ক্রিয় কাইমোট্রিপ্‌সিনোজেন ক্ষুদ্রান্ত্রে আসিয়া ট্রিপ্‌সিনের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হয়, ফলে সক্রিয় কাইমোট্রিপ্‌সিন উৎপন্ন হয়। ইহা ক্ষারধর্মী পরিবেশে দুধের প্রোটিন কেসিনকে প্যারাকেসিন ও ছানার জলের প্রোটিনে পরিণত করিয়া দুগ্ধতঞ্চনে (milk coagulation) সাহায্য করে। ইহা অন্যান্য প্রোটিন ও পলিপেপ্‌টাইডকে জল-

বিশ্লিষ্ট করিয়াও ক্ষুদ্রতর পেপ্‌টাইড উৎপন্ন করে ; এনজাইমটি প্রধানতঃ টাইরোসিন, ট্রিপ্‌টোফ্যান প্রভৃতি অ্যারোম্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গের সহিত যুক্ত পেপ্‌টাইড বন্ধনীকেই জলবিশ্লিষ্ট করে।

(c) **কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজ :** নিষ্ক্রিয় প্রো-কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজ ট্রিপ্‌সিনের প্রভাবে সক্রিয় কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজে পরিণত হয়। পেপ্‌টাইড অণুর যে প্রান্তে মুক্ত অ্যাল্‌ফা-কার্বক্সিল বর্গ বর্তমান, সেই প্রান্তের সর্বশেষ পেপ্‌টাইড বন্ধনীটিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজ ঐ কার্বক্সিল-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটিকে মুক্ত করিয়া দেয়, ফলে পেপ্‌টাইডটি ক্ষুদ্রতর পেপ্‌টাইডে পরিণত হয়। কার্বক্সিল-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটি অ্যারোম্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিড হইলে কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজ-এ তৎসংশ্লিষ্ট পেপ্‌টাইড বন্ধনীকে ভাঙ্গিতে পারে ; কার্বক্সিল-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটি আর্জিনিন বা লাইসিন হইলে তৎসংশ্লিষ্ট পেপ্‌টাইড বন্ধনীটি কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজ-বি দ্বারা জলবিশ্লিষ্ট হয়। উভয় এনজাইমই অগ্ন্যাশয়-রসে বর্তমান।

(d) **কোলাজেনেজ ও ইলাস্টেজ :** ইহারা যথাক্রমে যোগকলার প্রোটিন কোলাজেন ও ইলাস্টিনকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া পেপ্‌টাইড উৎপাদন করে। ইলাস্টেজ প্রধানতঃ প্রশম (neutral) অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গ-সংশ্লিষ্ট পেপ্‌টাইড বন্ধনীর জলবিশ্লেষ ঘটায়।

2. **কার্বোহাইড্রেটের পরিপাক :** অ্যামাইলপ্‌সিন বা প্যান্‌ক্রিয়াটিক অ্যামাইলেজ স্টার্চ, গ্লাইকোজেন ও ডেক্সট্রিনকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া মল্টোজ, মল্টোট্রায়োজ এবং 'লিমিট ডেক্সট্রিন' নামক একটি ক্ষুদ্র ডেক্সট্রিন অণু উৎপন্ন করে। ইহার ক্রিয়ার জন্য ক্লোরাইড আয়ন এবং ঈষৎ ক্ষারধর্মী পরিবেশের প্রয়োজন (সর্বোত্তম পি-এইচ 7.1)।

3. **নিউক্লিইক অ্যাসিডের পরিপাক :** রাইবোনিউক্লিয়েজ আর.এন.এ. (RNA) অণুকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া কয়েকটি অলিগোনিউক্লিওটাইড নামক ক্ষুদ্রতর অণু উৎপন্ন করে। ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিয়েজ ডি.এন.এ. (DNA) অণুর জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া কয়েকটি অলিগোনিউক্লিওটাইড এবং কতিপয় ক্ষুদ্রতম নিউক্লিওটাইড (মোনোনিউক্লিওটাইড) অণু উৎপাদন করে।

4. **লিপিড ও স্টেরলের পরিপাক :**

(a) **প্যানক্রিয়াটিক লাইপেজ বা স্টিয়াপ্‌সিন :** ক্ষারধর্মী পরিবেশে (সর্বোত্তম পি-এইচ প্রায় 8) এই এস্টারেজ-বর্গীয় এনজাইমটি প্রথমে ট্রাই-

গ্লিসেরাইড ফ্যাটের একটি এস্টার বন্ধনীকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া এক অণু 1,2-ডাইগ্লিসেরাইড ও এক অণু মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড (চর্বিজাতীয় অ্যাসিড) উৎপাদন করে ; পরে ডাইগ্লিসেরাইডের প্রান্তীয় এস্টার বন্ধনীটিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া তাহাকে এক অণু 2-মোনোগ্লিসেরাইড (বিটা-মোনোগ্লিসেরাইড) ও এক অণু মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডে পরিণত করে। 2-মোনোগ্লিসেরাইডকে ইহা জলবিশ্লিষ্ট করিতে পারে না। স্টিয়াপ্‌সিনের ক্রিয়ার জন্য পিত্তলবণের (bile salts) উপস্থিতি অপরিহার্য। প্রথমতঃ পিত্তলবণের ক্রিয়ায় স্টিয়াপ্‌সিন কো-লাইপেজ নামক প্রোটিনের সহিত যুক্ত হইয়া যায়, ফলে ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে স্টিয়াপ্‌সিনের বিনাশ নিবারিত হয় ও তাহার ক্রিয়া বাড়িয়া যায়। দ্বিতীয়তঃ জলদ্রাব্য লাইপেজ এনজাইমগুলি অদ্রাব্য তৈলকণার কেবল বহিঃপৃষ্ঠের উপরেই ক্রিয়া করিতে পারে— পিত্তলবণের ক্রিয়ায় বৃহৎ তৈলকণাগুলি বিচ্ছিন্ন হইয়া ক্ষুদ্রতর কণায় পরিণত ও অবদ্রবিত (emulsified) হইলে তাহাদের বহিঃপৃষ্ঠের মোট ক্ষেত্রফল বাড়িয়া যায়, ফলে তাহাদের উপরে লাইপেজের ক্রিয়াও বহুগুণে বৃদ্ধি পায়।

(b) **কোলেস্টেরল এস্টারেজ** : পিত্তলবণের ক্রিয়ায় সক্রিয় হইয়া এই এনজাইমটি কোলেস্টেরল এস্টারকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড ও মুক্ত কোলেস্টেরল উৎপন্ন করে। তাহা ছাড়া ভিটামিন এ এস্টারগুলি ইহারই ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইয়া মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড ও মুক্ত ভিটামিন এ দান করে।

(c) **ফসফোলাইপেজ** : নিষ্ক্রিয় ফসফোলাইপেজ-এ ট্রিপ্‌সিনের ক্রিয়ায় সক্রিয় হইয়া ফসফোগ্লিসেরাইড-বর্গীয় ফসফোলিপিড অণুর মধ্যবর্তী এস্টার বন্ধনীটিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া এক অণু ফ্যাটি অ্যাসিড (চর্বিজাতীয় অ্যাসিড) এবং এক অণু লাইসোফসফোলিপিড উৎপাদন করে।

7.5 অগ্ন্যাশয়-রসের ক্ষরণ নিয়ন্ত্রণ (regulation of pancreatic secretion)

অগ্ন্যাশয়-রসের ক্ষরণ প্রধানতঃ হর্মোন ও অংশতঃ নার্ভের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত।

1. **নার্ভীয় নিয়ন্ত্রণ** : আহারকালে খাদ্যের স্বাদ অথবা পাকস্থলীর খাদ্য-জনিত স্ফীতির ফলে সহজাত (unconditioned) প্রতিবর্ত ক্রিয়ার (reflex) উৎপত্তি হয়, ফলে ভেগাস বা দশম করোটিক নার্ভের পরাসমবেদী (parasympathetic) নার্ভতন্তু বাহিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) অগ্ন্যাশয়ে পৌঁছিয়া রসক্ষরণ উদ্দীপিত করে (সারণী 7.1)।

সারণী 7.1. **অগ্ন্যাশয়-রস ক্ষরণের দুইটি সহজাত প্রতিবর্ত।**

উদ্দীপনা	**গ্রাহক**	**অন্তর্মুখ নার্ভ**	**নার্ভকেন্দ্র**	**বহির্মুখ নার্ভ**
খাদ্যের স্বাদ	জিহ্বার স্বাদকোষ	সপ্তম, নবম করোটিক নার্ভ	সুষুম্নাশীর্ষক	দশম করোটিক নার্ভ
খাদ্যজনিত স্ফীতি	পাকস্থলীর টান-গ্রাহক	দশম করোটিক নার্ভ	ঐ	ঐ

এ বিষয়ে কয়েকটি প্রমাণ নিম্নরূপ :

(*a*) গ্রাসনালীর ফিশ্চুলা-যুক্ত কুকুরকে মিথ্যা আহার (sham feeding, 6.5 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) করাইলে অথবা কুকুরের গ্রাসনালী ও পাকস্থলী কাটিয়া দিবার পরে তাহাকে খাওয়াইলে খাদ্য পাকস্থলী বা অন্ত্রে না পৌঁছাইলেও আহারের অব্যবহিত পরে অগ্ন্যাশয়-রস ক্ষরিত হয়, কিন্তু ভেগাস নার্ভ কাটিয়া দিবার পরে এরূপ পরীক্ষা বিফল হয়।

(*b*) কুকুরের ভেগাস নার্ভের অগ্ন্যাশয়-গামী নার্ভতন্তুগুলিকে তড়িৎ-প্রয়োগে উদ্দীপিত করিলে অগ্ন্যাশয়ের রসক্ষরণ ঘটে ; অ্যাট্রোপিন দিয়া উহার পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলিকে নিষ্ক্রিয় করিয়া দিলে ইহা নিবারিত হয়।

(*c*) কুকুরের পাকস্থলীতে বেলুন ঢুকাইয়া সেটিকে ফুলাইলে অগ্ন্যাশয়-রস ক্ষরিত হয় ; ভেগাস কাটিয়া দিলে অথবা ঐ নার্ভে বা পাকস্থলীর ঝিল্লীতে অ্যাট্রোপিন দিলে এরূপ রসক্ষরণ ঘটে না।

(*d*) ভেগাস্‌কে উদ্দীপিত করিলে অগ্ন্যাশয়ের কোষ্টকের (acini) কোষে জাইমোজেন দানার সংখ্যা দ্রুত হ্রাস পায়।

আহারকালীন প্রতিবর্তের ফলে ভেগাসের ক্রিয়ায় ক্ষরিত অগ্ন্যাশয়-রস এনজাইমে সমৃদ্ধ, কিন্তু পরিমাণে এত কম যে তাহার অধিকাংশই কোষ্টকগুলির বিবরেই সঞ্চিত থাকে, ক্ষুদ্রান্ত্রে আসিয়া পৌঁছায় না ; তাহা ছাড়া উহাতে বাইকার্বনেটও অপেক্ষাকৃত অল্প, অতএব ক্ষারধর্মিতাও কম।

সিলিয়াক (coeliac) নার্ভগ্রন্থি হইতে আগত সমবেদী নার্ভতন্তুগুলির ক্রিয়ায় অগ্ন্যাশয়ের রক্তবাহগুলির প্রসারণ (dilatation) ঘটিয়া অগ্ন্যাশয়ে রক্তচলাচল বাড়ে, ফলে পরোক্ষে উহার রসক্ষরণও বাড়িতে পারে।

2. হর্মোনঘটিত নিয়ন্ত্রণ : খাদ্য ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রবেশ করিলে তাহার শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে **সিক্রিটিন** (secretin) ও **কোলেসিস্টোকাইনিন-প্যানক্রিয়োজাইমিন**

(cholecystokinin-pancreozymin) নামক দুইটি হর্মোন রক্তে ক্ষরিত হয়। ইহাদের যৌথ প্রভাবে প্রভূত পরিমাণে এবং এনজাইম ও বাইকার্বনেটে সমৃদ্ধ অগ্ন্যাশয়-রস ক্ষরিত হয়। এবিষয়ে কয়েকটি প্রমাণের উল্লেখ করা যায় :

(*a*) বেলিস্ ও স্টার্লিংগ মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের (jejunum) একটি কুণ্ডলীর (loop) উভয় প্রান্ত বাঁধিয়া ও উহার নার্ভসংযোগ বিচ্ছিন্ন করিয়া তাহার মধ্যে অ্যাসিড ঢুকাইলেন, ফলে অগ্ন্যাশয়-রস ক্ষরিত হইল।

(*b*) বেলিস্ ও স্টার্লিংগ গ্রহণী-ঝিল্লীর (duodenal mucosa) অ্যাসিড-নির্যাস (acid extract) জুগুলার শিরায় ইন্‌জেক্‌শন দিয়া অগ্ন্যাশয়-রসের ক্ষরণ ঘটাইয়াছিলেন। অতএব তাঁহারা সিদ্ধান্ত করেন যে, অ্যাসিডের প্রভাবে গ্রহণীর ঝিল্লী হইতে একটি রাসায়নিক পদার্থ রক্তে নিঃসৃত হয় ও অগ্ন্যাশয়ে গিয়া তাহার রসক্ষরণ ঘটায়। তাঁহারা এই উদ্দীপক পদার্থটিকে 'সিক্রিটিন' এবং এজাতীয় রক্তবাহিত উদ্দীপকগুলিকে 'হর্মোন' আখ্যা দেন।

(*c*) কুকুরের অগ্ন্যাশয়ের পুচ্ছটি কাটিয়া লইয়া স্তনের নিকটে অধিরোপণের (transplantation) পরে ক্ষুদ্রান্ত্রে খাদ্য প্রবেশ করাইলে অধিরোপিত অগ্ন্যাশয়-খণ্ড হইতেও রসক্ষরণ ঘটে। যেহেতু শেষোক্ত খণ্ডটির নার্ভসংযোগ ছিল না, কেবল রক্তসরবরাহ অব্যাহত ছিল, অতএব ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে রক্ত বাহিয়াই কোনও রাসায়নিক উত্তেজক অগ্ন্যাশয়-খণ্ডে গিয়াছিল।

(*d*) পরবর্তী কালে গ্রহণীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে সিক্রিটিন নামক একটি অগ্ন্যাশয়-উদ্দীপক পলিপেপ্‌টাইড নিষ্কাশিত ও বিশোধিত করা গিয়াছে ; ইহার অণু 27টি অ্যামাইনো অ্যাসিডে গঠিত। তাহা ছাড়া হার্পার ও রেপার আন্ত্রিক ঝিল্লী-নির্যাস (intestinal mucosal extract) হইতে প্যান্‌ক্রিয়োজাইমিন নামক অন্য একপ্রকার অগ্ন্যাশয়-উদ্দীপক পদার্থ নিষ্কাশন করেন। রক্তে ইহার ইন্‌জেক্‌শন দিলে অগ্ন্যাশয়ের কোষ্ঠকগুলির (acini) কোষে জাইমোজেন দানার সংখ্যা দ্রুত হ্রাস পায় এবং এনজাইমে সমৃদ্ধ অগ্ন্যাশয়-রস ক্ষরিত হয়। উত্তর-কালে ইহার সহিত কোলেসিস্টোকাইনিন হর্মোনের অভিন্নতা প্রমাণিত হয়। কোলেসিস্টোকাইনিন-প্যান্‌ক্রিয়োজাইমিন হর্মোনটিও পেপ্‌টাইড— 33 অথবা 39 অ্যামাইনো অ্যাসিডের সমন্বয়ে ইহার অণু গঠিত হয়।

খাদ্য ক্ষুদ্রান্ত্রে আসিলে প্রধানতঃ তাহার সহিত মিশ্রিত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের রাসায়নিক ক্রিয়ায় গ্রহণী ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে সিক্রিটিন রক্তে ক্ষরিত হয় এবং অগ্ন্যাশয়ে পৌঁছিয়া জল ও বাইকার্বনেটের ক্ষরণ উদ্দীপিত করে ; ফলে যথেষ্ট পরিমাণে জলীয়, ক্ষারধর্মী ও বাইকার্বনেট-সমৃদ্ধ

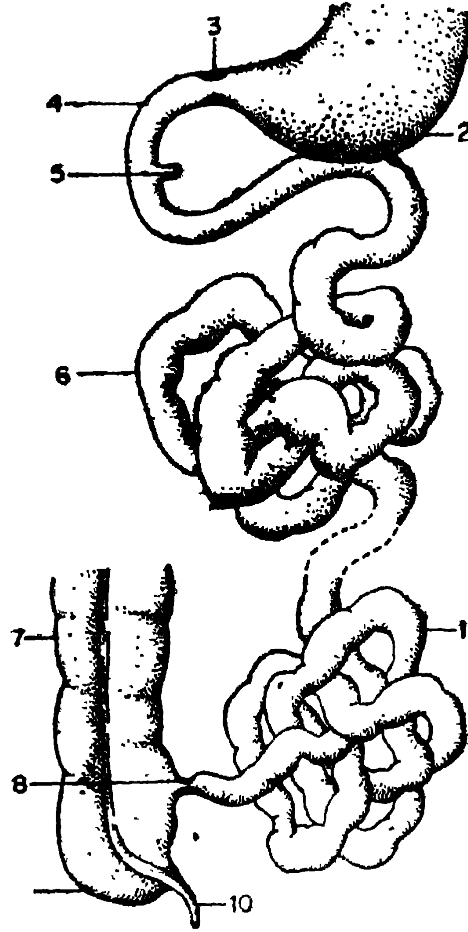
অগ্ন্যাশয়-রস ক্ষরিত হয়, কিন্তু উহাতে এনজাইম ও ক্লোরাইড আয়ন কম থাকে (**হাইড্রেল্যাটিক ক্ষরণ,** hydrelatic secretion)। পক্ষান্তরে, বিশেষতঃ প্রোটিনের পরিপাকজাত প্রোটিওস, পেপ্‌টোন, পলিপেপ্‌টাইড ও অ্যামাইনো অ্যাসিড এবং ফ্যাট (স্নেহপদার্থ) ও তাহার পরিপাকজাত সাবান ও দীর্ঘাণু ফ্যাটি (চর্বিজাতীয়) অ্যাসিডের রাসায়নিক ক্রিয়ায় ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রথমাংশের ঝিল্লী হইতে কোলেসিস্টোকাইনিন-প্যানক্রিয়োজাইমিন রক্তে ক্ষরিত হয়; ইহা অগ্ন্যাশয় হইতে যথেষ্ট পরিমাণে এনজাইমের ক্ষরণ ঘটায় (**এক্‌বোলিক ক্ষরণ,** ecbolic secretion)।

অষ্টম পরিচ্ছেদ

ক্ষুদ্রান্ত্র

8.1 ক্ষুদ্রান্ত্রের অঙ্গসংস্থান (anatomy of small intestine)

পাকস্থলীর পাইলোরিক প্রান্তের পর হইতে বৃহদন্ত্রের পূর্ব পর্যন্ত পৌষ্টিক নালীর দীর্ঘ, অপেক্ষাকৃত সংকীর্ণ ও জটিল কুণ্ডলীতে বিন্যস্ত নলাকার অংশটিকে ক্ষুদ্রান্ত্র বলে। ইহার মোট দৈর্ঘ্য প্রায় 6 মিটার। পাইলোরিক প্রান্ত হইতে ট্রেয়িৎস্-বর্ণিত সন্ধিবন্ধনী (ligament) পর্যন্ত ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রথমাংশটি প্রায় 20-22 সেন্টিমিটার দীর্ঘ এবং **গ্রহণী** (duodenum) নামে পরিচিত (চিত্র 8.1); এই অর্ধবৃত্তাকার কুণ্ডলীটির মধ্যস্থলে ভ্যাটার-বর্ণিত অ্যাম্পুলার (ampulla of Vater) মুখটি উন্মুক্ত হইয়াছে : এই পথেই যকৃত, পিত্তাশয় ও অগ্ন্যাশয়ের রস গ্রহণীতে আসে। গ্রহণীর পরে জটিল কুণ্ডলীতে সজ্জিত ও প্রায় 2.5 মিটার দীর্ঘ অংশটিকে **মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র** (jejunum) বলে। ক্ষুদ্রান্ত্রের শেষাংশ **শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র** (ileum) নামে পরিচিত ; এই অত্যন্ত জটিল নলাকার অংশটি প্রায় 3.5 মিটার দীর্ঘ এবং মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে মলাশয়ের (colon) গাত্রে **ইলিওকোলিক পেশীবলয়** (ileocolic sphincter) পর্যন্ত বিস্তৃত। শেষোক্ত পেশীবলয়টির মধ্য দিয়া শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র



চিত্র 8.1. ক্ষুদ্রান্ত্র ; 1-শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র, 2-পাকস্থলী ; 3-পাইলোরিক পেশীবলয়, 4-গ্রহণী ; 5-ভ্যাটার-বর্ণিত অ্যাম্পুলা, 6-মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র ; 7-মলাশয়, 8-ইলিওকোলিক পেশীবলয় ; 9-অন্ধান্ত্র, 10-অ্যাপেনডিক্স্।

মলাশয়ে উন্মুক্ত হইয়াছে। ক্ষুদ্রান্ত্রের কুণ্ডলীগুলি উদরগহ্বরের **পেরিটোনিয়াম** ঝিল্লীর মেসেন্টারি নামক ভাঁজের দ্বারা আবৃত থাকে এবং উহার দ্বারাই উদর-প্রাচীর হইতে ঝুলিয়া থাকে ; ফলে কুণ্ডলীগুলির নিজস্ব সঞ্চালনের স্বাধীনতা থাকিলেও তাহাদের অস্বাভাবিক স্থানচ্যুতি এবং পরস্পর জড়াইয়া যাওয়া নিবারিত হয়।

8.2 ক্ষুদ্রান্ত্রের আণুবীক্ষণিক গঠন (histology of small intestine)

ক্ষুদ্রান্ত্রের গাত্রে বাহির হইতে ভিতরের দিকে কলার স্তরগুলি পরপর নিম্নরূপে সজ্জিত থাকে (চিত্র 8.2)।

1. **সেরাস স্তর (serous coat) :** অ্যারিওলার কলায় গঠিত বহিঃপৃষ্ঠের এই স্তরটি উদরগহ্বরের মেসেন্টারি ঝিল্লীর সহিত জুড়িয়া আছে (8.1 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

2. **পেশীস্তর (muscle coat) :** ভিতরের দিকে পরবর্তী স্তরটি প্রধানতঃ দুই স্তবক অনৈচ্ছিক পেশীতে গঠিত ; বাহিরের স্তবকে অরেখ পেশী-তন্তুগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের দৈর্ঘ্যবরাবর লম্বালম্বিভাবে এবং ভিতরের স্তবকে উহারা ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর ঘিরিয়া বৃত্তাকারে সজ্জিত থাকে। এই দুই স্তবক পেশীর মাঝ-খানে **আউয়েরব্যাক-বর্ণিত মায়েন্টেরিক নার্ভজাল** (Auerbach's myenteric plexus) নামক নার্ভতন্তুর জটিল জাল বর্তমান ; ইহার নার্ভতন্তুগুলি পেশীস্তরের পেশীগুলির সঞ্চালন নিয়ন্ত্রণ করে। শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের শেষপ্রান্তে পেশীস্তরটি সুগঠিত হইয়া ইলিওকোলিক পেশীবলয় গঠন করে।

3. **অধঃশ্লৈষ্মিক স্তর (submucous coat) :** অ্যারিওলার কলায় গঠিত এই স্তরটি পেশীস্তরকে শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর (mucous membrane) সহিত যুক্ত করে। এই স্তরে রক্তবাহ ও লসিকাবাহের (lymphatics) জাল এবং মায়ালিন-বিহীন (non-myelinated) নার্ভতন্তুর জাল বর্তমান। শেষোক্ত জালটিকে **মেইস্‌নার-বর্ণিত অধঃশ্লৈষ্মিক নার্ভজাল** (Meissner's sub-

চিত্র 8.2. ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রস্থচ্ছেদের আণুবীক্ষণিক গঠন (সম্মুখের পৃষ্ঠায়)। A-গ্রহণী, B-শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র, C-ভিলাসের প্রান্ত, D-গুহা-গ্রন্থির গভীর অংশ ; E-ব্রুনার-গ্রন্থি ; F-নার্ভজাল। 1-ভিলাস ; 2-শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী, 3-গুহা-গ্রন্থি ; 4-ঝিল্লীপেশী ; 5-ব্রুনার-গ্রন্থি ; 6-অধঃশ্লৈষ্মিক স্তর, 7-বৃত্তাকার পেশীস্তবক ; 8-অনুদৈর্ঘ্য বা লম্বালম্বি পেশীস্তবক ; 9-সেরাস স্তর, 10-মায়েন্টেরিক নার্ভজাল ; 11-পেয়ার-বর্ণিত ছাপ ; 12-বুরুশপ্রান্ত কোষ ; 13-পানপাত্র কোষ, 14-নার্ভকোষ।

mucous plexus) বলে ; ইহার দ্বিবাহু (bipolar) নার্ভকোষগুলি শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর গ্রাহকগুলির সহিত মায়েন্টেরিক নার্ভজালের সংযোগসাধন করে এবং ক্ষুদ্রান্ত্রের ক্রমসংকোচ (peristalsis) নিয়ন্ত্রণে অংশ লয় । তাহা ছাড়া মেইস্নার-বর্ণিত নার্ভজাল শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর পেশী ও গ্রন্থিগুলিকে নিয়ন্ত্রণ করে । কেবল গ্রহণীর অধঃশ্লৈষ্মিক স্তরে **ব্রুনার-গ্রন্থি** (Brunner's glands) নামক জটিল নলাকার গ্রন্থি থাকে ; উহাদের প্রণালীগুলি শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর গুহা-গ্রন্থিগুলির প্রণালীতে পড়ে ।

4. **শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (mucous membrane)** : ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর-সন্নিহিত এই স্তরটির বাহিরের দিকে ঝিল্লীপেশী (muscularis mucosae) নামক অরেখ পেশীর একটি পাতলা স্তর থাকে । শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর যোগকলায় গঠিত জমি বা ধাত্রে (matrix) বহু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র লসিকা-গুটিকা (lymph nodules) দেখা যায় । শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রে লসিকা-গুটিকাগুলি বৃহদাকার ধারণ করে এবং কখনও কখনও ঝিল্লীপেশীর স্তর ভেদ করিয়া অধঃশ্লৈষ্মিক স্তর পর্যন্ত পৌঁছায় । এই বৃহৎ লসিকা-গুটিকাগুলিকে **পেয়ার-বর্ণিত ছাপ** (Peyer's patches) বলে ; ইহারা গ্রহণী বা মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রে থাকে না । শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী বড় বড় ভাঁজ হইয়া ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরের মধ্যে প্রায় 8 মিলিমিটার পর্যন্ত ঝুলিয়া থাকে ; এই ভাঁজগুলিকে ভ্যাল্‌ভিউলি কন্নিভেন্টেস (valvulae conniventes) বলে এবং ইহারা ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরমুখী পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বাড়াইয়া খাদ্যের শোষণ বর্ধিত করে ।

শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর বিবরমুখী পৃষ্ঠের (luminal surface) প্রতি বর্গ মিলি-মিটারে প্রায় 30-35টি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র এবং প্রায় 1 মিলিমিটার পর্যন্ত দীর্ঘ অঙ্গুলির মত **অভিক্ষেপ** (projection) বা **ভিলাস** (villus, pleural : villi) বিবরের মধ্যে ঝুঁকিয়া থাকে (চিত্র 8.3) । ইহাদের জন্য ঝিল্লীর বিবরমুখী পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বহুগুণে বাড়িয়া খাদ্যের শোষণে সাহায্য হয় । প্রত্যেক ভিলাসের কেন্দ্রস্থলে একটি কেন্দ্রীয় লসিকানালী (central lacteal) থাকে ; তাহাকে ঘিরিয়া কৈশিক নালীর (capillaries) জাল এবং তাহাকেও আবৃত করিয়া ভিলাসের বহিঃপৃষ্ঠে একসারি আবরক কোষ (epithelial cells) বর্তমান । শেষোক্ত আবরক কোষস্তরে কয়েকপ্রকার কোষ থাকে :

(a) স্তম্ভাকার বুরুশপ্রান্ত কোষ (columnar brush-bordered cell) : ইহারা দীর্ঘকায় এবং সংখ্যায় সর্বাধিক । কোষের পাদদেশের নিকটে বৃহৎ ও গোল নিউক্লিয়াস আছে । দানাদার (granular) সাইটোপ্লাজমে দানাযুক্ত

এন্‌ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকুলাম, গল্‌গি-অঙ্গ ও মাইটোকন্‌ড্রিয়া থাকে। ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরের দিকে কোষের মুক্ত পৃষ্ঠে সাইটোপ্লাজমে-গঠিত শত শত অভিক্ষেপ বা **মাইক্রোভিলাস** (microvillus, pleural : microvilli) বর্তমান। ইহাদের জন্যই কোষের বিবরমুখী প্রান্তটিকে বুরুশের মত দেখায় এবং উক্ত প্রান্তের ক্ষেত্রফল বহুগুণে বাড়িয়া শোষণ সুসাধ্য হয়।

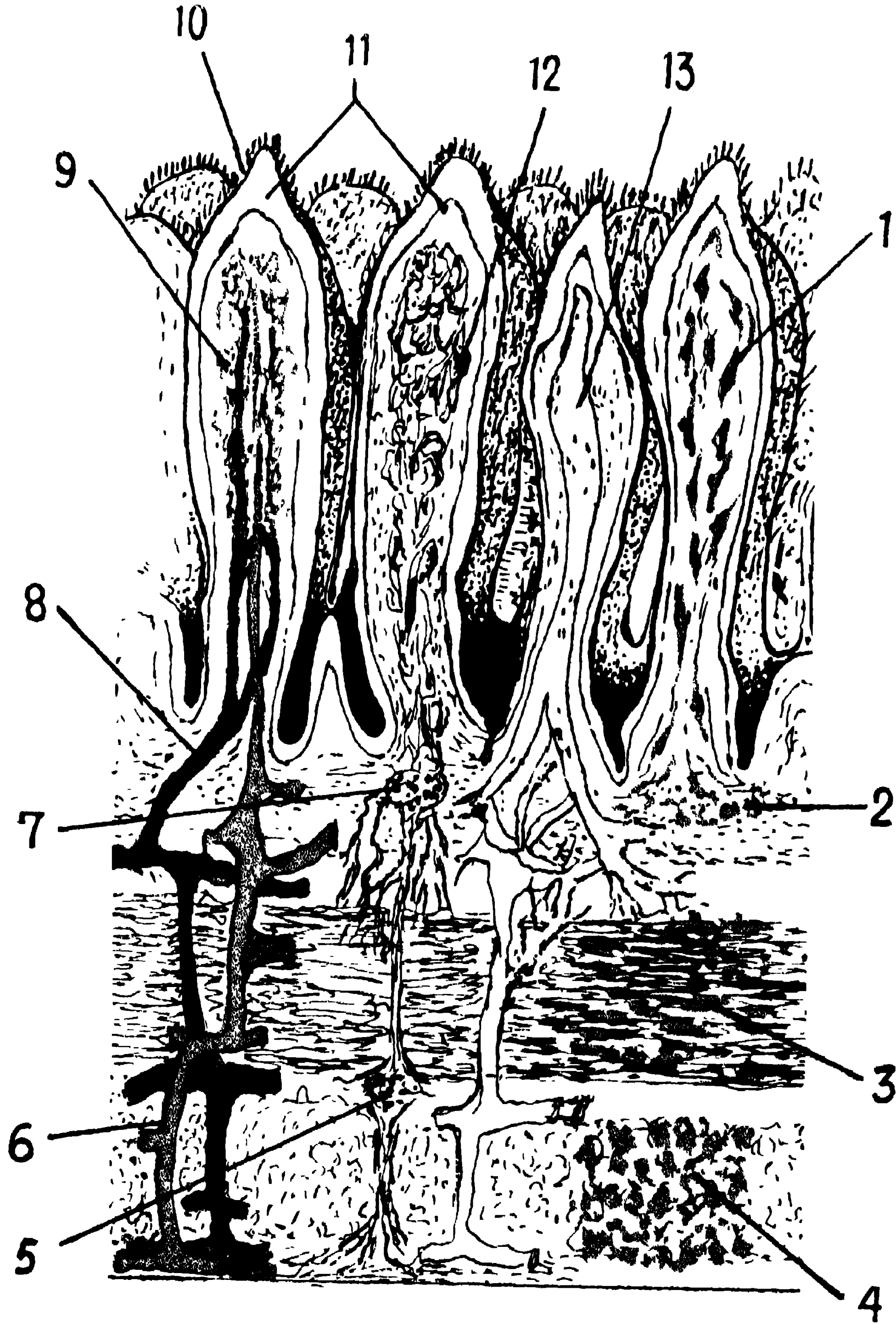
(b) পানপাত্র কোষ (goblet cell) : স্তম্ভাকার কোষের ফাঁকে ফাঁকে কতিপয় শূন্য পানপাত্রের মত আকৃতির কোষ থাকে। বস্তুতঃ ইহারা স্তম্ভাকার শ্লেষ্মাকোষ। কোষের বিবরমুখী প্রান্তের সাইটোপ্লাজমে ক্রমশঃ শ্লেষ্মাকণা জমিয়া সাইটোপ্লাজম, নিউক্লিয়াস প্রভৃতিকে কোষের পাদদেশে ও পার্শ্ব-প্রাচীরের গাত্রে সংকীর্ণ স্তরের আকারে ঠেলিয়া রাখে। অবশেষে কোষের মুক্ত প্রান্তটিকে বিচ্ছিন্ন করিয়া শ্লেষ্মা ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে বাহির হইয়া যায় (**শিখরচ্ছেদী ক্ষরণ,** apocrine secretion) এবং শ্লেষ্মাশূন্য কোষের নিম্নভাগে সাইটোপ্লাজম, নিউক্লিয়াস ইত্যাদি পড়িয়া থাকায় কোষটি পানপাত্রের আকার ধারণ করে।

(c) রৌপ্যাসক্ত কোষ (argentaffin cell) : এই স্তম্ভাকার বা ত্রিকোণা-কার কোষগুলির পাদদেশের সাইটোপ্লাজমের ঘোরবর্ণ দানাগুলি সহজেই রৌপ্য ও ক্রোমিয়াম-ঘটিত রঞ্জকে রঞ্জিত হয়; গোলাকার নিউক্লিয়াস কোষের মধ্যভাগে অবস্থিত।

(d) প্যানেথ কোষ (Paneth cell) : এই বৃহৎ স্তম্ভাকার কোষগুলির সাইটোপ্লাজমে প্রচুর দানাদার এন্‌ডোপ্লাজ্‌মিক রেটিকুলাম, একটি সুগঠিত গল্‌গি-অঙ্গ এবং বহু বৃহৎ জাইমোজেন দানা থাকে। নিউক্লিয়াস বৃহদায়তন, অনিয়মিত আকৃতিবিশিষ্ট এবং কোষের পাদদেশে অবস্থিত।

ভিলাসের কেন্দ্রীয় লসিকানালীটি ভিলাসের মুক্ত অগ্রভাগের নিকটে আবরক কোষস্তরের নিচে বদ্ধ ও ঈষৎ স্ফীত প্রান্তে সমাপ্ত হয়; উহার অপর প্রান্তটি অধঃশ্লৈষ্মিক স্তরের লসিকাবাহের জালে উন্মুক্ত হয়। ঝিল্লীপেশীর স্তর হইতে অরেখ পেশীর পাতলা পাতলা গুচ্ছ ভিলাসের ভিতরে উঠিয়া আসিয়া আবরক কোষস্তরের নিচে শেষ হইয়াছে; এই পেশীগুলির সংকোচনেই ভিলাস সঞ্চালিত হয় এবং তাহার মধ্যে লসিকা ও রক্তের চলাচল বাড়ে।

গ্রহণীর ভিলাসগুলি অপেক্ষাকৃত বেঁটে ও মোটা; মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের ভিলাসগুলি অপেক্ষাকৃত দীর্ঘ ও সরু; শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের ভিলাসগুলি দীর্ঘ, কিন্তু সংখ্যায় অপেক্ষাকৃত কম। ভিলাস, মাইক্রোভিলাস ও ভাল্‌ভিউলি কনিভেন্টেসের



চিত্র 8.3. ভিলাসের গঠন। 1-অনৈচ্ছিক পেশী, 2-ঝিল্লীপেশী; 3-বৃত্তাকার পেশীস্তবক; 4-লম্বালম্বি পেশীস্তবক, 5-মায়েণ্টেরিক নার্ভজাল; 6-ধমনী; 7-অধঃশ্লৈষ্মিক নার্ভজাল; 8-শিরা; 9-কৈশিক নালী, 10-বুরুশপ্রান্ত কোষস্তর; 11-ভিলাস; 12-নার্ভতন্তু; 13-কেন্দ্রীয় লসিকানালী।

জন্য শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর বিবরমুখী পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল প্রায় 600 গুণ বাড়িয়া যায় এবং খাদ্যের শোষণেও সেই অনুপাতে সাহায্য হয়।

ভিলাসগুলির ফাঁকে ফাঁকে কতকগুলি নলাকৃতি গ্রন্থির মুখ ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে আসিয়া পড়িয়াছে। এই গ্রন্থিগুলি শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর ভিতরে ঝিল্লীপেশীর কাছাকাছি পর্যন্ত বিস্তৃত এবং **লিবের্কুহ্ন্-বর্ণিত গুহা-গ্রন্থি** বা আন্ত্রিক গ্রন্থি (crypts of Lieberkuhn or intestinal glands) নামে পরিচিত। ইহাদের গাত্রও ভিলাস-গাত্রের মতই মুখ্যতঃ স্তম্ভাকার কোষ এবং কিছু পানপাত্র কোষ, ত্রিকোণাকার রৌপ্যাসক্ত কোষ ও প্যানেথ কোষ দিয়া গঠিত। গুহা-গ্রন্থির কোষগুলি আন্ত্রিক রস (intestinal juice) ক্ষরণ করে। রৌপ্যাসক্ত কোষগুলি সেরোটোনিন, সোম্যাটোস্ট্যাটিন, সিক্রিটিন, গ্লুকাগন প্রভৃতি হর্মোন ক্ষরণ করে। গ্রহণীর ব্রুনার-গ্রন্থিগুলিও আন্ত্রিক রসে শ্লেষ্মা ও এনজাইম ক্ষরণ করিয়া থাকে।

প্যানেথ কোষ ও রৌপ্যাসক্ত কোষের সংখ্যা ভিলাসের আবরক কলার স্তরে অপেক্ষাকৃত কম, আন্ত্রিক গ্রন্থির গভীর অংশের গাত্রে তদপেক্ষা বেশি।

8.3 আন্ত্রিক রসের উপাদান (composition of intestinal juice)

ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে গুহা-গ্রন্থি ও ব্রুনার-গ্রন্থির মিশ্রিত রসকেই আন্ত্রিক রস (intestinal juice or succus entericus) বলে।

দৈনিক পরিমাণ : 1.5-2 লিটার, আপেক্ষিক গুরুত্ব : 1.010, পি-এইচ : 6.3-9.0, জল : 98.5% ; কঠিন পদার্থ : 1.5%, অজৈব লবণ : 0.8%, জৈব পদার্থ : 0.7%।

অজৈব লবণের মধ্যে সোডিয়াম ও পটাসিয়ামের ক্লোরাইড, বাইকার্বনেট ও ফসফেট উল্লেখ্য। জৈব পদার্থ বলিতে থাকে শ্লেষ্মা (mucin), বিচ্ছিন্ন কোষ এবং বহু এনজাইম। এনজাইমগুলি নিম্নরূপ : এণ্টেরোকাইনেজ, প্রোলিডেজ, কতিপয় অ্যামাইনোপেপ্টাইডেজ, অনেকগুলি ট্রাইপেপ্টাইডেজ ও বহু ডাইপেপ্টাইডেজ—ইহারা প্রোটিন-পাককারী ; কার্বোহাইড্রেট-পাককারী আন্ত্রিক অ্যামাইলেজ, সুক্রেজ, ল্যাক্‌টেজ, মল্টেজ ও আইসোমল্টেজ ; লিপিড বা চর্বি-পাককারী আন্ত্রিক লাইপেজ ও লেসিথিনেজ ; নানা প্রকারের ফসফাটেজ ; নিউক্লিইক অ্যাসিড-পাককারী একাধিক পলিনিউক্লিওটাইডেজ, নিউক্লিওটাইডেজ ও নিউক্লিওসাইড ফসফোরিলেজ। গুহা-গ্রন্থির স্তম্ভাকার কোষ, প্যানেথ কোষ ও রৌপ্যাসক্ত (argentaffin) কোষ এবং ব্রুনার-গ্রন্থির কোষ হইতে অনেকগুলি এনজাইম ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরেই ক্ষরিত হয় ; বস্তুতঃ অনেক ক্ষেত্রে সম্পূর্ণ কোষটি গুহা-গ্রন্থির গাত্র হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া ক্ষুদ্রান্ত্রের

বিবরে পড়ে এবং সেখানে উহার কোষঝিল্লী ছিন্ন হইয়া ভিতরে সঞ্চিত এনজাইমগুলি বাহির হইয়া আসে (**কোষচ্ছেদী ক্ষরণ**, holocrine secretion)। কিন্তু সুক্রেজ, মল্টেজ. ডাইপেপ্‌টাইডেজ, ট্রাইপেপ্‌টাইডেজ. ফসফাটেজ, নিউক্লিওসাইড ফসফোরিলেজ প্রভৃতি বহু এনজাইমই ক্ষুদ্রান্ত্রের আবরক কোষগুলির ভিতরে বা তাহাদের মুক্ত বুরুশপ্রান্তের কোষঝিল্লীতে থাকে এবং আংশিক পাচিত খাদ্য ঐসকল কোষে শোষিত হওয়ার সময়ে বা অব্যবহিত পরে তাহার উপরে ক্রিয়া করে। শ্লেষ্মা ব্রুনার-গ্রন্থির কোষ ও পানপাত্র কোষ (goblet cell) হইতে ক্ষরিত হয়।

8.4 আন্ত্রিক রসের ক্রিয়া (functions of intestinal juice)

1. **প্রোটিনের পরিপাক :** আন্ত্রিক রসের নিম্নলিখিত প্রোটিন-পাককারী এনজাইমগুলির ক্রিয়ায় ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রোটিনের পরিপাক সম্পূর্ণ হয়।

(a) **এন্টেরোকাইনেজ :** এই গ্লাইকোপ্রোটিন-জাতীয় এনজাইমটি ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে আসিয়া অল্প অম্লধর্মী পরিবেশে (পি-এইচ 5.2-6.0) এবং ক্যালসিয়াম আয়নের সাহায্যে অগ্ন্যাশয়-রসের নিষ্ক্রিয় ট্রিপ্‌সিনোজেনকে জলবিশ্লিষ্ট (hydrolysed) করিয়া একটি নিষ্ক্রিয় হেক্সাপেপ্‌টাইড এবং সক্রিয় প্রোটিন-পাককারী ট্রিপ্‌সিন উৎপন্ন করে।

(b) **অ্যামাইনোপেপ্‌টাইডেজ :** পেপ্‌টাইড অণুর যে প্রান্তে শেষ অ্যামাইনো অ্যাসিডটির অ্যালফা-অ্যামাইনো বর্গ মুক্ত থাকে, অ্যামাইনোপেপ্‌-টাইডেজ এনজাইমগুলি সেই প্রান্তের সর্বশেষ পেপ্‌টাইড বন্ধনীটিকে জল-বিশ্লিষ্ট করিয়া উক্ত অ্যামাইনো-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটিকে মুক্ত করিয়া দেয়, ফলে পেপ্‌টাইডটি ক্ষুদ্রতর পেপ্‌টাইডে পরিণত হয়। দৃষ্টান্তস্বরূপ. অ্যামাইনো-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটি লিউসিন হইলে তাহার সহিত যুক্ত শেষ পেপ্‌টাইড বন্ধনীটিকে লিউসিন অ্যামাইনোপেপ্‌টাইডেজ ক্ষারধর্মী পরিবেশে ও ম্যাগনেসিয়াম বা ম্যাংগানিজ আয়নের সহায়তায় জলবিশ্লিষ্ট করে, ফলে লিউসিন অণুটি মুক্ত হইয়া যায়।

(c) **প্রোলিডেজ :** পেপ্‌টাইডের প্রান্তে প্রোলিন থাকিলে এই এনজাইমটি তাহার সহিত যুক্ত শেষ পেপ্‌টাইড বন্ধনীটিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া প্রোলিন অণুটিকে মুক্ত করিয়া দেয়।

(d) **ট্রাইপেপ্‌টাইডেজ :** ইহারা এক-একটি ট্রাইপেপ্‌টাইড অণুর এক-

প্রান্তের শেষ পেপ্‌টাইড বন্ধনীটিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া একটি ডাইপেপ্‌টাইড ও একটি অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

(e) **ডাইপেপ্‌টাইডেজ :** ইহারা এক-একটি ডাইপেপ্‌টাইডের পেপ্‌-টাইড বন্ধনীটিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া দুইটি অ্যামাইনো অ্যাসিড অণু উৎপন্ন করে।

বস্তুতঃ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র পেপ্‌টাইডগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের বুরুশপ্রান্ত কোষগুলির মধ্যে শোষিত হওয়ার সময়ে কোষঝিল্লীতে, অথবা তাহার অব্যবহিত পরে কোষমধ্যে ট্রাইপেপ্‌টাইডেজ, ডাইপেপ্‌টাইডেজ প্রভৃতি এনজাইমের সাহায্যে সম্পূর্ণ পরিপাক হইয়া অ্যামাইনো অ্যাসিডে পরিণত হয়।

2. **কার্বোহাইড্রেটের পরিপাক :** ক্ষুদ্রান্ত্রে কার্বোহাইড্রেটের পরিপাক সম্পূর্ণ হয়।

(a) **ইনটেস্টিন্যাল অ্যামাইলেজ :** ইহা স্টার্চ, ডেক্সট্রিন প্রভৃতি পলিস্যাকারাইডকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া ক্ষুদ্রতর পলিস্যাকারাইড, অলিগোস্যা-কারাইড ও গ্লুকোজ উৎপাদন করে।

(b) **মল্টেজ :** একাধিক মল্টেজ সামান্য অম্লধর্মী পরিবেশে (পি-এইচ 5.8-6.2) মল্টোজকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া দুই অণু গ্লুকোজে পরিণত করে।

(c) **সুক্রেজ বা ইন্‌ভার্টেজ :** সামান্য অম্লধর্মী ও প্রশম (neutral) পরিবেশে (পি-এইচ 5-7) ইহা সুক্রোজ নামক ডাইস্যাকারাইডকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া এক অণু গ্লুকোজ ও এক অণু ফ্রুক্টোজ উৎপন্ন করে।

(d) **ল্যাক্‌টেজ :** একাধিক ল্যাক্‌টেজ সামান্য অম্লধর্মী পরিবেশে (পি-এইচ 5 4-6) দুধের ল্যাক্‌টোজ নামক ডাইস্যাকারাইডকে এক অণু গ্লুকোজ ও এক অণু গ্যালাক্‌টোজে জলবিশ্লিষ্ট করে।

(e) **আইসোমল্টেজ :** ইহা লিমিট ডেক্সট্রিনের শাখাবিশিষ্ট আণবিক শৃঙ্খলকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া গ্লুকোজ ও মল্টোজ উৎপন্ন করে।

মল্টেজ, সুক্রেজ ও ল্যাক্‌টেজ প্রধানতঃ ক্ষুদ্রান্ত্রের বুরুশপ্রান্ত কোষের কোষ-ঝিল্লীতে থাকে এবং ডাইস্যাকারাইডগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে শোষিত হওয়ার সময়ে কোষঝিল্লীতে অথবা তাহার অব্যবহিত পরে কোষমধ্যে তাহাদের জলবিশ্লিষ্ট করে।

3. **লিপিডের পরিপাক :** লিপিড পরিপাকও এখানেই সম্পূর্ণ হয়।

(a) ইন্‌টেস্টিন্যাল লাইপেজ : পিত্তলবণের প্রভাবে অবদ্রবিত (emulsified) ট্রাইগ্লিসেরাইড ফ্যাটে এস্টার বন্ধনীগুলিকে একে একে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া লাইপেজ স্টিয়াপ্‌সিনের মতই ক্রমে 1,2-ডাইগ্লিসেরাইড, 2-মোনোগ্লিসেরাইড (বিটা-মোনোগ্লিসেরাইড) ও ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন করে (পৃ. 56-57 দ্রষ্টব্য)। 2-মোনোগ্লিসেরাইড ঐ আকারেই বুরুশপ্রান্ত কোষের মধ্যে শোষিত হইবার পরে আইসোমেরেজ এনজাইমের দ্বারা অংশতঃ 1-মোনোগ্লিসেরাইডে (অ্যাল্‌ফা-মোনোগ্লিসেরাইড) পরিবর্তিত হয় এবং শেষোক্ত বস্তুটি কোষের ভিতরেই লাইপেজের দ্বারা জলবিশ্লিষ্ট হইয়া গ্লিসেরল ও ফ্যাটি অ্যাসিড দান করে : অতএব ফ্যাটের অন্তিম পরিপাক অল্প পরিমাণে অন্তঃকোষ পরিপাক পদ্ধতিতে ঘটিতে পারে।

(b) লেসিথিনেজ : ইহা লেসিথিনের পরিপাক ঘটায়।

4. জৈব ফসফেটের পরিপাক : ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে ও শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর কোষমধ্যে বিভিন্ন ফসফাটেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় খাদ্যের জৈব ফসফেটগুলি (যথা, নিউক্লিওটাইড অর্থাৎ নিউক্লিওসাইড ফসফেট) জলবিশ্লিষ্ট হইলে অজৈব ফসফেট ও জৈব যৌগ (যথা, নিউক্লিওসাইড) উৎপন্ন হয়। আন্ত্রিক ফসফাটেজগুলি প্রধানতঃ **অ্যালক্যালাইন ফসফাটেজ**, অর্থাৎ ইহারা ক্ষারধর্মী পরিবেশেই সর্বাধিক সক্রিয় থাকে।

5. নিউক্লিইক অ্যাসিডের পরিপাক : ইহাও অংশতঃ ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে এবং অংশতঃ ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে সম্পন্ন হয়।

(a) পলিনিউক্লিওটাইডেজ : এই এস্টারেজ-বর্গীয় এনজাইমগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে অলিগোনিউক্লিওটাইড অণুকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া অনেকগুলি নিউক্লিওটাইড অণু উৎপন্ন করে।

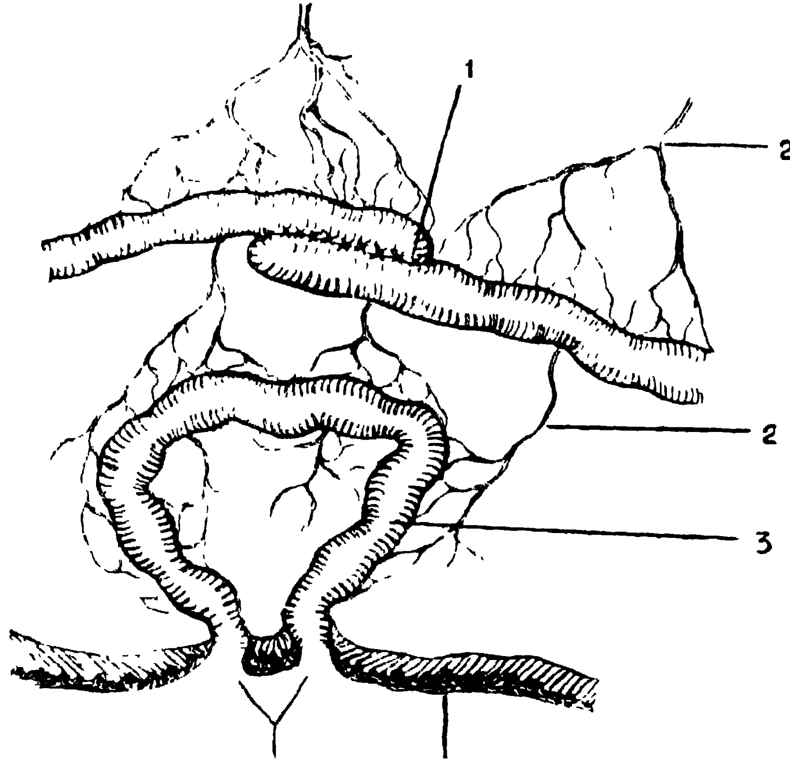
(b) নিউক্লিওটাইডেজ বা নিউক্লিওটাইড ফসফাটেজ : এই ফসফাটেজগুলি নিউক্লিওটাইডকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া নিউক্লিওসাইড ও অজৈব ফসফেটকে পরস্পর বিচ্ছিন্ন করিয়া দেয়।

(c) নিউক্লিওসাইড ফসফোরিলেজ : নিউক্লিওসাইডগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের কোষমধ্যে শোষিত হওয়ার সময়ে বা পরে এই এনজাইমগুলি অজৈব ফসফেটের সহিত নিউক্লিওসাইডের বিক্রিয়া ঘটাইয়া শেষোক্ত অণুকে পিউরিন বা পিরিমিডিন এবং পেন্টোজ ফসফেটে ভাঙ্গিয়া দেয়। জলের পরিবর্তে অজৈব ফসফেট বা ফসফোরিক অ্যাসিডের সাহায্যে এরূপ ভাঙ্গনকে **ফসফোবিশ্লেষ** (phosphorolysis) বলে।

8.5 ক্ষুদ্রান্ত্রের ক্ষরণ নিয়ন্ত্রণ (regulation of intestinal secretion)

ক্ষুদ্রান্ত্রের রসক্ষরণ নার্ভ ও হর্মোনের দ্বারা প্রভাবিত হয়।

1. নার্ভীয় নিয়ন্ত্রণ : স্প্ল্যাংক্‌নিক নার্ভ বাহিয়া সমবেদী নার্ভতন্তু এবং ভেগাস বা দশম করোটিক নার্ভ বাহিয়া পরাসমবেদী নার্ভতন্তু ক্ষুদ্রান্ত্রে পৌঁছিয়াছে। অবশ্য মধ্য- ও শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের গ্রন্থিগুলির উপরে নার্ভের প্রত্যক্ষ ক্রিয়া আছে কিনা সন্দেহ। তবে সমবেদী ও পরাসমবেদী নার্ভতন্তুর পরস্পর-



চিত্র 8.4. থাইরি-ভেলা ফিশ্চুলা। 1-ক্ষুদ্রান্ত্রের কর্তিত অংশদ্বয়ের সংযোজন। 2-মেসেন্টারির রক্তবাহ, 3-থাইরি-ভেলা ফিশ্চুলা, 4-উদরপ্রাচীর, 5-ফিশ্চুলার উন্মুক্ত মুখদ্বয়।

বিরোধী ক্রিয়া এবং ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের নার্ভজালগুলির স্থানীয় প্রতিবর্তের (local reflex) ফলে গ্রহণীর ব্রুনার-গ্রন্থিগুলির ক্ষরণ নিয়ন্ত্রিত হইতে পারে। কয়েকটি প্রাসঙ্গিক পরীক্ষা নিম্নরূপ :

(*a*) ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে প্রায় 20 সেণ্টিমিটার দীর্ঘ একটি কুণ্ডলী (loop) কাটিয়া লইয়া তাহার একপ্রান্ত সেলাই করিয়া বন্ধ করিয়া দিয়া অন্য প্রান্তটিকে উদরপ্রাচীর দিয়া বাহিরে উন্মুক্ত করিলে **থাইরি ফিশ্চুলার** (Thiry fistula) সৃষ্টি হয়; পক্ষান্তরে, কর্তিত কুণ্ডলীটির উভয় প্রান্তই খোলা রাখিয়া উদর-

প্রাচীরের দুইটি স্থান দিয়া বাহিরে উন্মুক্ত করিলে **থাইরি-ভেলা ফিশ্চুলা** (Thiry-Vella fistula) তৈয়ারি হয় (চিত্র 8.4)। উভয় ফিশ্চুলার ক্ষেত্রেই কর্তিত কুণ্ডলীটির নার্ভসংযোগ অক্ষুণ্ণ থাকে এবং মূল ক্ষুদ্রান্ত্রের দুই কর্তিত প্রান্ত সেলাই করিয়া জুড়িয়া দিয়া ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরপথের অবিচ্ছিন্নতা পুনঃপ্রতিষ্ঠা করা হয়। এরূপ ফিশ্চুলা দিয়া খণ্ডিত কুণ্ডলীটির মধ্যে বেলুন ঢুকাইয়া ফুলাইলে অথবা কুণ্ডলীটির ভিতরগাত্র স্পর্শ করিয়া উদ্দীপিত করিলে তাহা হইতে আন্ত্রিক রস ক্ষরিত হয়, কিন্তু অ্যাট্রোপিন দিয়া ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের নার্ভজালগুলিকে নিষ্ক্রিয় করিয়া দিলে ঐ ক্ষরণ ব্যাহত হয়।

(*b*) সমবেদী নার্ভতন্তু কাটিয়া দিলে অত্যন্ত লঘু (dilute) আন্ত্রিক রস ক্ষরিত হয় (**পক্ষাঘাতজনিত ক্ষরণ,** paralytic secretion); এই রসের এনজাইম ও পরিমাণ ভেগাস্ নার্ভের উদ্দীপনায় বৃদ্ধি পায় এবং অ্যাড্রেন্যালিন বা অন্যান্য সমবেদী-অনুকারী (sympathomimetic) ঔষধ প্রয়োগে কমিয়া যায়।

(*c*) কুকুরের গ্রীবার নিকটে সুষুম্নাকাণ্ড কাটিয়া দিয়া সকল অন্তর্মুখ নার্ভের ক্রিয়া নিবারণ করিয়া ভেগাস নার্ভকে উদ্দীপিত করিলে ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে রস ক্ষরিত হয়; অ্যাট্রোপিন, স্কোপাল্যামিন প্রভৃতি পরাসমবেদীনাশক (parasympatholytic) ঔষধ প্রয়োগে ইহা নিবারিত হয়।

খাদ্যের স্পর্শে অথবা খাদ্যজনিত স্ফীতির ফলে টান পড়িয়া গ্রহণীর গাত্রে গ্রাহকগুলি (receptors) উদ্দীপিত হইলে প্রতিবর্ত ক্রিয়ার (reflex) উদ্রেক ঘটে, ফলে ভেগাসের পরাসমবেদী নার্ভতন্তু দিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) আসিয়া ব্রুনার-গ্রন্থিগুলির রসক্ষরণ বাড়াইতে পারে। একই ধরনের উদ্দীপনার ফলে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের নার্ভজালগুলি উদ্দীপিত হইয়া স্থানীয় প্রতিবর্তের (local reflex) মাধ্যমেও গুহা-গ্রন্থি ও ব্রুনার-গ্রন্থির ক্ষরণ ঘটিতে পারে।

2. হর্মোনঘটিত নিয়ন্ত্রণ : ক্ষুদ্রান্ত্রের গ্রন্থিগুলির হর্মোনঘটিত নিয়ন্ত্রণের ধারণার পরিপোষক কয়েকটি পরীক্ষা নিম্নরূপ :

(*a*) মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের (jejunum) একটি কুণ্ডলীর সকল নার্ভসংযোগ নষ্ট করার পরে খাওয়াইলে অথবা রক্তে ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর বিশোধিত নির্যাস ইন্‌জেক্‌শন দিলে উক্ত নার্ভবিহীন কুণ্ডলী হইতেও রসক্ষরণ ঘটে।

(*b*) ক্ষুদ্রান্ত্রের একটি নার্ভবিহীন কুণ্ডলী স্তনের নিকটে ত্বকের নিচে অধি-

রোপণ (transplantation) করিয়া ক্ষুদ্রান্ত্রে অর্ধপাচিত খাদ্য, অ্যাসিড বা প্রোটিনসার (meat extract) প্রবেশ করাইলে অধিরোপিত কুণ্ডলীটিও রসক্ষরণ করে।

ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্র হইতে **ভ্যাসো-অ্যাক্‌টিভ ইন্‌টেস্টিন্যাল পেপ্‌টাইড** (vaso-active intestinal peptide or VIP) নামক একটি পেপ্‌টাইড হর্মোন নিষ্কাশিত করা গিয়াছে। 28টি অ্যামাইনো অ্যাসিড অণুতে গঠিত এই বস্তুটি ক্ষুদ্রান্ত্রে অজৈব আয়ন ও জলের ক্ষরণ উদ্দীপিত করে।

নবম পরিচ্ছেদ

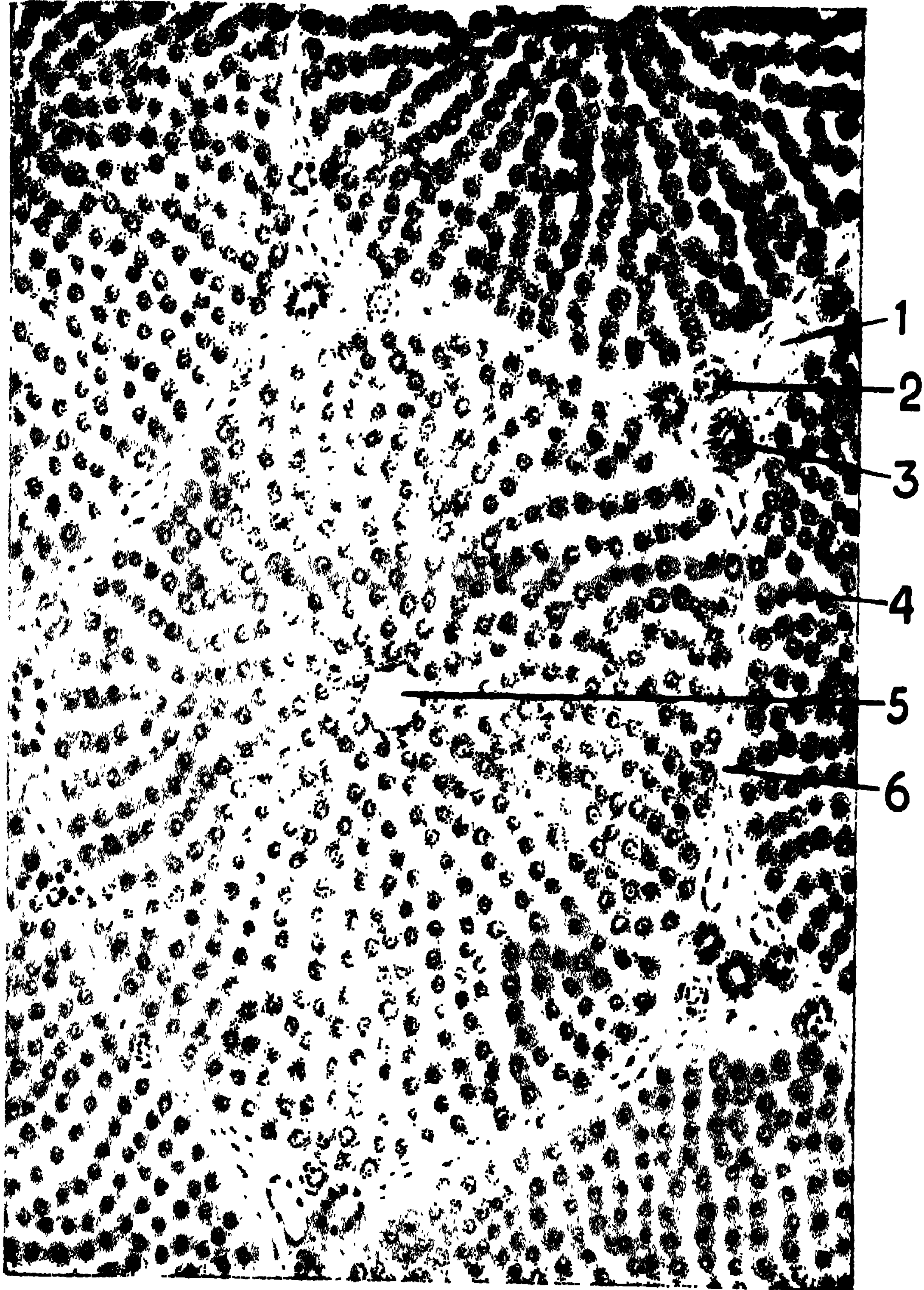
যকৃত

9.1 যকৃত ও পিত্তাশয়ের অঙ্গসংস্থান (anatomy of liver and gall bladder)

উদরগহ্বরের ঊর্ধ্বাংশের দক্ষিণদিকে মধ্যচ্ছদার (diaphragm) ঠিক নিচে, গ্রহণী (duodenum) ও দক্ষিণ বৃক্কের উপরদিকে এবং পাকস্থলীর উপরের দিকে ও ডানদিকে যকৃত অবস্থিত। ইহা দেহের বৃহত্তম গ্রন্থি এবং মুখ্যতঃ দুইটি খণ্ডে বিভক্ত। **পিত্তাশয়** (gall bladder) যোগকলার দ্বারা যকৃতের নিম্নপৃষ্ঠের সহিত সংলগ্ন থাকে। যকৃত ও পিত্তাশয় আংশিকভাবে উদর-গহ্বরের পেরিটোনিয়াম ঝিল্লী দিয়া আবৃত থাকে। পিত্তাশয় দীর্ঘ কলসাকার থলি ; ইহার স্ফীত ও বদ্ধ শেষাংশকে ফাণ্ডাস, মধ্যভাগকে দেহ (body) এবং সংকীর্ণ মুখটিকে গ্রীবা (neck) বলা হয়। যকৃত হইতে আগত দক্ষিণ ও বাম **যকৃত-নালী** (hepatic ducts) পরস্পর মিলিয়া একটি যকৃত-নালী উৎপন্ন করে এবং তাহা পিত্তাশয়ের গ্রীবা হইতে উৎপন্ন **পিত্তাশয়-নালীর** (cystic duct) সহিত মিলিয়া **সাধারণ পিত্তনালী** (common bile duct) গঠন করে (চিত্র 7.1)। সাধারণ পিত্তনালী গ্রহণীর নিকটে **ভ্যাটার-বর্ণিত অ্যাম্পুলা** (ampulla of Vater) নামক ঈষৎ-স্ফীত নালীতে পড়ে। উক্ত অ্যাম্পুলা **ওডাই পেশীবলয়ের** (sphincter of Oddi) মধ্য দিয়া গ্রহণীর মধ্য-ভাগে উন্মুক্ত হয় (7.1 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

9.2 যকৃতের আণুবীক্ষণিক গঠন (histology of liver)

যকৃতের যোগকলায় গঠিত বহিঃস্তর পেরিটোনিয়াম ঝিল্লীর সহিত জুড়িয়া সেরাস স্তর গঠন করে। ইহার ভিতরে যকৃতের প্রত্যেক খণ্ড অনেক ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র স্তম্ভকাকৃতি (cylindrical) ও বহুকোণী **খণ্ডিকা** (lobule) দিয়া গঠিত ; খণ্ডিকার ব্যাস ও দৈর্ঘ্য যথাক্রমে প্রায় 1 ও 2 মিলিমিটার (চিত্র 9.1)। প্রত্যেক খণ্ডিকা চারিদিকে যোগকলার স্তর দিয়া গঠিত ব্যবধায়ক (septum) দ্বারা পাশাপাশি খণ্ডিকাগুলি হইতে পৃথক থাকে। প্রত্যেক খণ্ডিকার কেন্দ্রে কেন্দ্রীয় শিরা (central vein) বর্তমান। কেন্দ্রীয় শিরা হইতে খণ্ডিকার বহিঃ-সীমা পর্যন্ত যকৃত-কোষগুলি (hepatic cells) দুই বা ততোধিক স্তরে গঠিত



চিত্র 9.1. যকৃতের আণুবীক্ষণিক গঠন। 1-পোর্টাল শিরার শাখা, 2-ধমনীর শাখা, 3-পিত্তনালী; 4-যকৃত-কোষ, 5-খণ্ডিকার কেন্দ্রীয় শিরা; 6-খণ্ডিকার পরিধিতে যোগকলা স্তর।

ও মৌচাকের মত সছিদ্র পাতের আকারে সজ্জিত থাকে ; কোষস্তরে গঠিত পাতগুলি অনেকটা চাকার অর বা পাখির মত কেন্দ্রীয় শিরা হইতে খণ্ডিকার পরিধির দিকে ছড়াইয়া আছে। পাতের ছিদ্রগুলি দিয়া এবং কোষগুলির গাত্র বাহিয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র রক্তনালিকা (sinusoid) ও পিত্তপ্রণালিকা (bile canaliculi) প্রবাহিত হইয়াছে। পিত্তপ্রণালিকাগুলি খণ্ডিকার পরিধির দিকে গিয়া খণ্ডিকা-বেষ্টণকারী যোগকলা স্তরে একটি প্রান্তীয় পিত্তনালীতে (terminal bile duct) পড়ে ; যোগকলা স্তরে শেষোক্ত পিত্তনালীটির নিকটেই পোর্টাল শিরা ও হেপাটিক ধমনীর একটি করিয়া শাখা থাকে এবং এই তিনটিকে একত্রে পোর্টাল ট্রায়াড (portal triad) বলে। হেপাটিক ধমনী ও পোর্টাল শিরার শাখা-দুইটি হইতে খণ্ডিকার রক্তনালিকাগুলি দিয়া রক্ত কেন্দ্রীয় শিরায় পড়ে ; বিভিন্ন খণ্ডিকার কেন্দ্রীয় শিরাগুলির রক্ত হেপাটিক শিরায় যায়। রক্তনালিকার মধ্যে কাপফার (Kupfer) কোষ নামক বহু বৃহৎ তারকাসদৃশ আগ্রাসী (phagocytic) কোষ সূক্ষ্ম প্রোটোপ্লাজমের সূতা দিয়া রক্তনালিকার গাত্রে আটকাইয়া থাকে ; ইহাদের নিউক্লিয়াস বৃহৎ ও পাংশুবর্ণ। রক্তনালিকার গাত্র একস্তর চ্যাপটা এন্‌ডোথেলিয়াল কোষে গঠিত এবং এই স্তরের বৃহৎ ছিদ্রগুলি দিয়া রক্তরস সহজেই যকৃত-কোষ ও এন্‌ডোথেলিয়াল কোষের স্তরদ্বয়ের মধ্যবর্তী সংকীর্ণ বিবরে (ডিয়েস-বর্ণিত বিবর, space of Diesse) যাতায়াত করে। খণ্ডিকার বহিঃস্তরে অবস্থিত প্রান্তীয় পিত্তনালীটি অন্যান্য অনুরূপ পিত্তনালীর সহিত মিলিয়া পরিণামে যকৃতনালীতে (hepatic duct) পড়ে।

খণ্ডিকার **যকৃত-কোষগুলি** বৃহৎ ও বহুকোণী। কোষমধ্যে এক বা একাধিক গোল বা ডিম্বাকার নিউক্লিয়াস, গল্‌গি-অঙ্গ, দানাযুক্ত এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম, গ্লাইকোজেন দানা এবং বহু মিহি ক্ষারগ্রাহী (basophil) দানা দেখা যায়। খণ্ডিকার পরিধির নিকটের কোষগুলিতে দানার মত মাইটোকনড্রিয়া, কেন্দ্রীয় কোষগুলিতে শলাকার মত মাইটোকনড্রিয়া এবং মাঝামাঝি অঞ্চলের কোষগুলিতে ঐ দুইয়ের মাঝামাঝি আকারের মাইটোকনড্রিয়া থাকে। কোষের পিত্তপ্রণালিকামুখী কোষঝিল্লীতে বহু মাইক্রোভিলাস আছে। মনে হয়, খণ্ডিকার পরিধির দিকের কোষগুলির মুখ্য কার্য পিত্তক্ষরণ এবং কেন্দ্রীয় কোষগুলির প্রধান কার্য গ্লাইকোজেন সংশ্লেষণ ও সঞ্চয়।

9.3 পিত্তের উপাদান (composition of bile)

পিত্ত পীতাভ সবুজ অথবা পীতবর্ণ জলীয় রস। যকৃত-কোষ হইতে

ক্ষরিত পিত্ত পিত্তাশয়ে সঞ্চিত থাকিবার সময়ে নানাভাবে পরিবর্তিত হইয়া যায় (সারণী 9.1 ও 10.2 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

সারণী 9.1. পিত্তের উপাদান ও গুণ।

উপাদান ও গুণ	যকৃতের পিত্ত	পিত্তাশয়ের পিত্ত
আপেক্ষিক গুরুত্ব	1.010	1.035
পি-এইচ	6.9-8.5	5.5-7.7
জল	97.3%	88.9%
অজৈব লবণ	0.8%	0.9%
পিত্তলবণ	1.9%	9.1%
শ্লেষ্মা ও পিত্তরঙ্গক	0.5%	3.1%
কোলেস্টেরল	0.11%	0.56%
লিপিড	0 32%	2.35%

পিত্তের অজৈব লবণ প্রধানতঃ সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম প্রভৃতির বাইকার্বনেট, ফসফেট ও ক্লোরাইড ; বাইকার্বনেটের আধিক্যের জন্যই যকৃতের পিত্ত পিত্তাশয়ের পিত্ত অপেক্ষা ক্ষারধর্মী। মানুষের পিত্তে মুখ্য **পিত্তলবণ** (bile salts) হইল সোডিয়াম টওরোকোলেট ও সোডিয়াম গ্লাইকোকোলেট ; ইহারা যথাক্রমে টওরোকোলিক ও গ্লাইকোকোলিক অ্যাসিড নামক দুইটি জৈব পিত্ত-অ্যাসিডের (bile acids) লবণ। মানুষের পিত্তে প্রধানতঃ বিলিরুবিন এবং অল্প পরিমাণে বিলিভার্ডিন নামক দুইটি **পিত্তরঙ্গক** (bile pigments) থাকে ; ইহাদের অনুপাতের উপরেই পিত্তের বর্ণ নির্ভর করে। লিপিডগুলির মধ্যে ফ্যাট (স্নেহপদার্থ), সাবান, লেসিথিন প্রভৃতি উল্লেখ্য।

9.4 পিত্তের ক্রিয়া (functions of bile)

1. ফ্যাট বা স্নেহপদার্থের পরিপাক : এই কার্যে পিত্তলবণগুলি অপরিহার্য। প্রথমতঃ, পিত্তলবণের ক্রিয়ায় ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে অগ্ন্যাশয়ের লাইপেজ (স্টিয়াপ্সিন) কো-লাইপেজ নামক প্রোটিনের সহিত যুক্ত হইয়া যায়, ফলে স্টিয়াপ্সিনের বিনাশ নিবারিত হইয়া তাহার ক্রিয়া বাড়ে। দ্বিতীয়তঃ, পিত্তলবণগুলি তৈলকণার পৃষ্ঠটান (surface tension) কমাইয়া বৃহৎ তৈলকণাগুলিকে বহু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণায় পরিণত করিয়া অবদ্রবিত (emulsified) করে (**অবদ্রাবক ক্রিয়া,** emulsifying action)। ইহার ফলে তৈলকণা-

গুলির বহিঃপৃষ্ঠের মোট ক্ষেত্রফল (surface area) বাড়ে এবং তাহাদের পৃষ্ঠের উপরে জলদ্রাব্য লাইপেজগুলির ক্রিয়াও বহুগুণে বর্ধিত হয়।

2. **ফ্যাট বা স্নেহপদার্থের শোষণ :** ইহার জন্যও পিত্তলবণ অপরিহার্য। প্রথমতঃ, ফ্যাটের পরিপাকজাত বৃহদণু ফ্যাটি অ্যাসিড (higher fatty acids), মোনোগ্লিসেরাইড প্রভৃতির অদ্রাব্য অণুগুলির সহিত মিলিয়া পিত্তলবণগুলি জলদ্রাব্য চর্বিকণিকা বা মিসেল (micelle) উৎপন্ন করে (জলাবতী ক্রিয়া, hydrotropic action)। মিসেলগুলি সহজেই ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হয়, কিন্তু মিসেলের অন্তর্গত পিত্তলবণ অণুগুলি উহা হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে ফিরিয়া আসে। দ্বিতীয়তঃ, অল্পস্বল্প অপরিবর্তিত ফ্যাটের কণা ক্রমে পিত্তলবণ, মোনোগ্লিসেরাইড, ডাইগ্লিসেরাইড প্রভৃতির যৌথ ক্রিয়ায় অতি ক্ষুদ্র কণায় বিভক্ত হইয়া এত সূক্ষ্ম অবদ্রবে (emulsion) পরিণত হয় যে তাহা কোনও পরিপাক ব্যতীতই ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইয়া যায়।

3. **চর্বিদ্রাব্য (fat-soluble) ভিটামিনের শোষণ :** পিত্তলবণ ভিটামিন ডি, ভিটামিন কে, ভিটামিন ই এবং ক্যারোটিনের চর্বিদ্রাব্য অণুগুলিকে জলদ্রাব্য মিসেল কণিকার অন্তর্ভুক্ত করিয়া তাহাদের শোষণ সম্ভবপর করে। কিন্তু ভিটামিন এ পিত্তলবণের সাহায্য ব্যতীতই ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হয়।

4. **কোলেস্টেরলের পরিপাক, শোষণ ও রেচন :** পিত্তলবণগুলি অগ্ন্যাশয়-রসের কোলেস্টেরল এস্টারেজকে সক্রিয় করিয়া কোলেস্টেরল এস্টারের জলবিশ্লেষ সুসাধ্য করে, মুক্ত কোলেস্টেরলকে মিসেলের অন্তর্ভুক্ত করিয়া তাহার শোষণ সম্ভবপর করে এবং পিত্তেও কোলেস্টেরলকে অবদ্রবে রাখিয়া তাহার রেচন (excretion) সহজ করে।

5. **পিত্ত-উদ্দীপক ক্রিয়া (choleretic action) :** ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত পিত্তলবণগুলি যকৃতের কোষগুলিকে জল ও পিত্তলবণ ক্ষরণে উদ্দীপিত করে। স্বাভাবিক অবস্থায় ইহাই পিত্তক্ষরণের প্রধান কারণ (9.8 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

6. **ক্রমসংকোচ :** পিত্তলবণগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের পেশীর ক্রমসংকোচ (peristalsis) বাড়াইয়া বৃহদন্ত্রের দিকে খাদ্যের গতি বর্ধিত করে।

7. **বীজবারক (antiseptic) ক্রিয়া :** পিত্ত পরোক্ষে অন্ত্রে জীবাণুর ক্রিয়া কমায় ; পিত্তের অভাবে খাদ্যের পরিপাক ও শোষণ ব্যাহত হইলে এবং ক্রমসংকোচ হ্রাস পাইলে অন্ত্রে পচনসহায়ক জীবাণুর ক্রিয়া বাড়ে।

8. রেচন (excretion) : কোলেস্টেরল, পিত্তরঙ্গক (bile pigments), অ্যাল্‌ক্যালাইন ফস্‌ফাটেজ, ভারী ধাতুর লবণ, ইউরিক অ্যাসিড প্রভৃতি বহু বস্তু পিত্তের সহিত অন্ত্রে আসিয়া মলে বাহির হয়। কোলেস্টেরল ও পিত্ত-রঙ্গক রেচনের ইহাই মুখ্য পথ।

9. ক্ষুদ্রান্ত্রের অম্লত্ব নিবারণ : পিত্তের বাইকার্বনেট পাকস্থলী হইতে আগত খাদ্যমণ্ডের (chyme) অ্যাসিডকে প্রশমিত (neutralised) করিয়া ক্ষুদ্রান্ত্রে অতিরিক্ত অম্লত্ব নিবারণ করে।

9.5 পিত্তের জৈব উপাদানগুলির উৎস

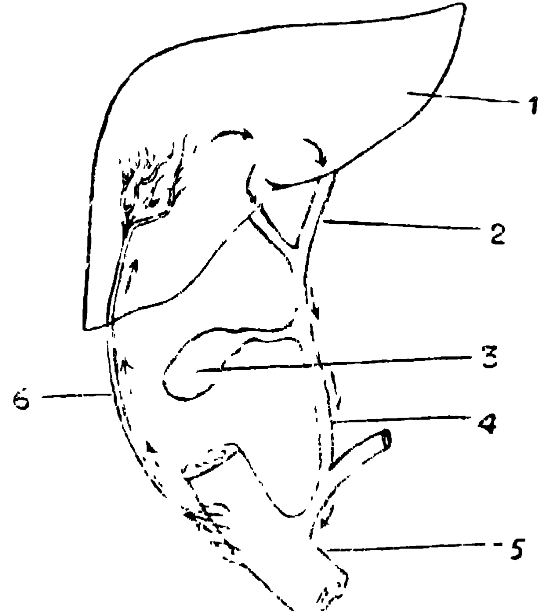
1. পিত্তলবণ : পিত্তলবণগুলি যকৃতের কোষেই অ্যামাইনো অ্যাসিড ও কোলেস্টেরল হইতে সংশ্লেষিত হয়। যকৃত-কোষে কোলেস্টেরলের বায়ব জারণের (oxidation) ফলে কোলিল-কো-এ (কোলিক অ্যাসিড-কোএনজাইম এ যৌগ) উৎপন্ন হয়। ইহার সহিত গ্লাইসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিক্রিয়ার ফলে কোএনজাইম এ এবং গ্লাইকোকোলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। আবার যকৃতে সিস্টাইন (cysteine) নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডটি জারণ ও কার্বন ডাই-অক্সাইড অপসারণের মাধ্যমে টওরিন উৎপাদন করে। টওরিনের (taurine) সহিত কোলিল-কো-এ (cholyl-coA) অণুর বিক্রিয়ায় কোএনজাইম এ এবং টওরোকোলিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। গ্লাইকোকোলিক ও টওরোকোলিক অ্যাসিডের সোডিয়াম-ঘটিত লবণই পিত্তলবণ।

2. পিত্তরঙ্গক : পিত্তরঙ্গকগুলি পরফিরিনের ভাঙ্গনের ফলে উৎপন্ন হয়। যকৃত, প্লীহা প্রভৃতির ম্যাক্রোফ্যাজ (macrophage) কোষগুলি রক্ত হইতে পুরাতন ও ভগ্ন লোহিত রক্তকণিকাগুলিকে গ্রাস করিয়া তাহাদের হিমোগ্লোবিনকে ভাঙ্গিয়া ভার্ডোহিমোক্রোম নামক লৌহ-বিলিভার্ডিন যৌগ এবং গ্লোবিন নামক প্রোটিন উৎপাদন করে ; ইহার পরে ভার্ডোহিমোক্রোম অণু ভাঙ্গিয়া লৌহ মুক্ত হয় এবং বিলিভার্ডিন নামক সবুজ পিত্তরঙ্গক জন্মায়। অধিকাংশ বিলিভার্ডিন বিজারিত (reduced) হইয়া রক্তাভ পীতবর্ণ পিত্তরঙ্গক বিলিরুবিন উৎপন্ন হয়। বিলিরুবিন ম্যাক্রোফ্যাজ হইতে রক্তে প্রবেশ করে এবং রক্তরসের অ্যালবুমিন প্রোটিনটির সহিত যুক্ত হইয়া বাহিত হয়। যকৃত-কোষগুলি রক্ত হইতে বিলিরুবিনকে তুলিয়া লইয়া তাহার সহিত গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড (glucuronic acid) জুড়িয়া বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইড উৎপন্ন করে এবং শেষোক্ত বস্তুকে পিত্তে ক্ষরণ করে।

3. কোলেস্টেরল : খাদ্যে কোলেস্টেরলের পরিমাণের উপরে পিত্তে তাহার পরিমাণ নির্ভর করে না। পিত্তের কোলেস্টেরল অংশতঃ যকৃতে অ্যাসিটেট হইতে সংশ্লেষিত হয় এবং অংশতঃ রক্ত হইতে আসে : যথা, নার্ভতন্ত্র হইতে বিমুক্ত কোলেস্টেরল অথবা প্লীহা ও যকৃতে বিনষ্ট রক্তকণিকার কোলেস্টেরল রক্তে আসিলে যকৃত-কোষগুলি উহাকে রক্ত হইতে লইয়া পিত্তে রেচন (excretion) করে।

9.6 পিত্তলবণের সংবহন (circulation of bile salts)

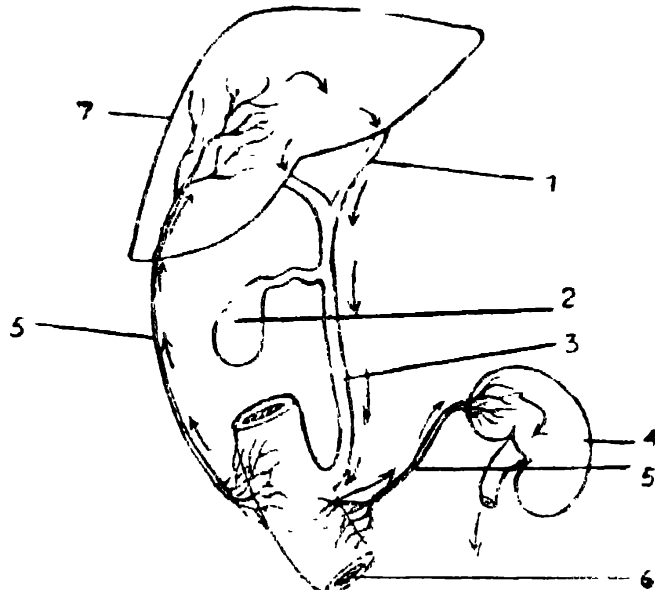
পিত্তলবণগুলি দেহের পক্ষে অপরিহার্য, সেজন্য শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের বুরুশপ্রান্ত আবরক কোষগুলি সক্রিয়ভাবে এবং একটি বাহক (carrier) প্রোটিনের সাহায্যে পিত্তলবণগুলিকে শোষণ করে। ফলে পিত্তলবণগুলি শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের শেষভাগ হইতে প্রায় সম্পূর্ণ পরিমাণেই শোষিত হইয়া পোর্টাল শিরার রক্তে যকৃতে ফিরিয়া যায়। যকৃত-কোষগুলি রক্ত হইতে পিত্ত-লবণগুলিকে তুলিয়া লইয়া আবার পিত্তে ক্ষরণ করে (চিত্র 9.2)। অন্ত্র ও যকৃতের মধ্যে পিত্তলবণের এই সংবহন-চক্রকে **অন্ত্র-যকৃত সংবহন** (entero-hepatic circulation) বলে। যতটুকু পিত্তলবণ প্রতিবার আহারের পরে ক্ষুদ্রান্ত্রে নিঃসৃত হয়, তাহার মাত্র 5-10% মলের সহিত বাহির হইয়া যায়, অবশিষ্ট অন্ত্র হইতে শোষিত হইয়া যকৃতে যায়। এভাবে একটি পিত্তলবণ অণু মলে বাহির হইয়া যাওয়ার আগে গড়ে প্রায় 15-20 বার অন্ত্র-যকৃত সংবহন দিয়া প্রবাহিত হইতে ও সমসংখ্যক বার পিত্তে ক্ষরিত হইতে পারে—বস্তুতঃ প্রত্যেকবার আহারের পরে পিত্তক্ষরণের সময়ে একই পিত্তলবণ অণু গড়ে দুইবার এভাবে পিত্তে ক্ষরিত হয়।



চিত্র 9.2. পিত্তলবণের সংবহনচক্র। 1-যকৃত; 2-যকৃত-নালী, 3-পিত্তাশয় 4-সাধারণ পিত্তনালী, 5-গ্রহণী; 6-পোর্টাল শিরা।

9.7 পিত্তরঙ্গকের সংবহন ও পরিণাম (circulation and fate of bile pigments)

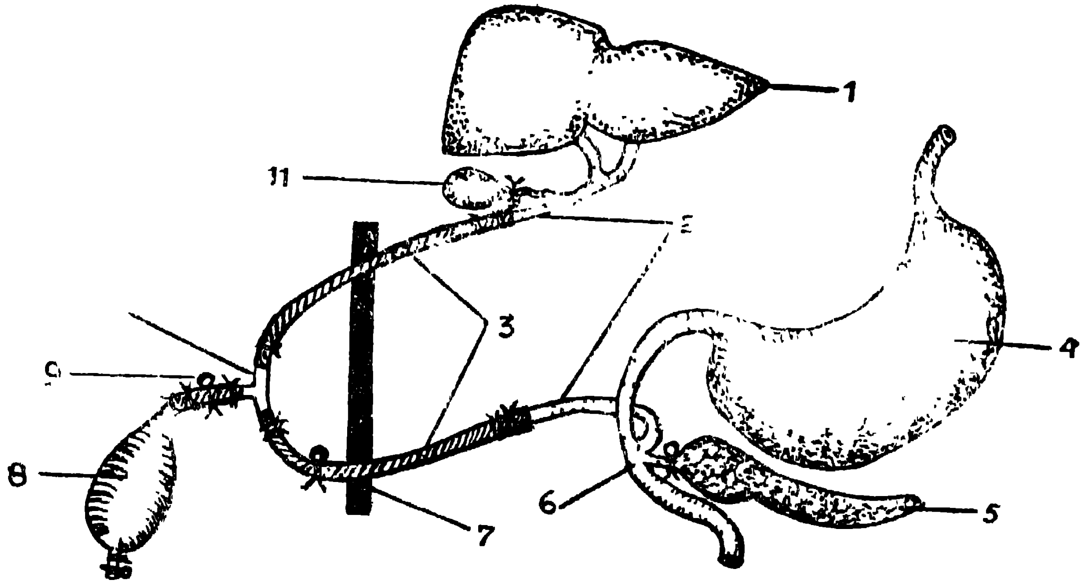
যকৃত, প্লীহা প্রভৃতির ম্যাক্রোফ্যাজ কোষ হইতে রক্তে আসিয়া 'মুক্ত' বিলিরুবিন প্রধানতঃ রক্তরসের অ্যালবুমিনের সহিত যোগের আকারে বাহিত হয়। যকৃত-কোষগুলি রক্ত হইতে ঐ 'মুক্ত' বিলিরুবিনকে তুলিয়া লইয়া প্রধানতঃ তাহার সহিত গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড যুক্ত করিয়া সহজদ্রাব্য বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইড উৎপন্ন করে এবং উহাকে পিত্তে সক্রিয়ভাবে ক্ষরণ করে (চিত্র 9.3)। অল্পস্বল্প বিলিরুবিন যকৃত-কোষে বিলিরুবিন সালফেটে পরিবর্তিত হইয়াও পিত্তে ক্ষরিত হয়। অন্ত্রে আসিয়া বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইড পুনর্বার জলবিশ্লিষ্ট হইয়া বিলিরুবিনকে মুক্ত করিয়া দেয় এবং তাহা শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র ও মলাশয়ে (colon) জীবাণুঘটিত পচনের (putrefaction) ফলে বিজারিত হইয়া ইউরোবিলিনোজেন ও স্টার্কোবিলিনোজেনে পরিণত হয়। অধিকাংশ স্টার্কোবিলিনোজেন মলে বাহির হয়। মলের স্বাভাবিক বর্ণের কারণ যে স্টার্কোবিলিন, তাহা স্টার্কোবিলিনোজেনের আংশিক বায়ব জারণের (oxidation) ফলে মলেই উৎপন্ন হয়। অল্পস্বল্প ইউরোবিলিনোজেন অন্ত্র হইতে আবার শোষিত হইয়া রক্তে আসিতে পারে; যকৃত ও বৃক্ক উহাকে রক্ত হইতে অপসারণ করিয়া যথাক্রমে পিত্ত ও মূত্রে রেচন করে। দিনে মলে প্রায় 50-250 মিলিগ্রাম ও মূত্রে প্রায় 1-3 মিলিগ্রাম পিত্তরঙ্গক বাহির হয়। মূত্রের ইউরোবিলিন নামক রঙ্গীন পদার্থটি ইউরোবিলিনোজেনের বায়ব জারণেই উৎপন্ন হয়।



চিত্র 9.3. পিত্তরঙ্গকের সংবহনচক্র। 1-যকৃত-নালী, 2-পিত্তাশয়; 3-সাধারণ পিত্তনালী; 4-বৃক্ক; 5-রক্তবাহ; 6-ক্ষুদ্রান্ত্র, 7-যকৃত।

9.8 পিত্তক্ষরণ নিয়ন্ত্রণ (regulation of bile secretion)

পিত্তক্ষরণ ও তাহার নিয়ন্ত্রণ পরীক্ষার্থে মানবেতর প্রাণীর পিত্তাশয়-নালীটিকে (cystic duct) বাঁধিয়া অবরুদ্ধ করা হয় এবং সাধারণ পিত্তনালীকে (common bile duct) দ্বিখণ্ডিত করিয়া প্রতি খণ্ডের কর্তিত মুখে একটি করিয়া রবার বা পলিথিনে নির্মিত নল লাগানো হয় (চিত্র 9.4)। নল দুইটিকে উদরপ্রাচীর ভেদ করিয়া বাহিরে আনিয়া একটি ত্রিমুখী কাচনলের দুইমুখে লাগানো হয় ; ত্রিমুখী নলটির তৃতীয় বাহুতে অপর একটি রবার বা পলিথিনের নল লাগাইয়া সেটিকে ক্লিপ দিয়া বন্ধ রাখা হয়। যকৃত হইতে



চিত্র 9.4. পিত্তক্ষরণ পরীক্ষা। 1-যকৃত, 2-সাধারণ পিত্তনালীর কর্তিত অংশ ; 3-রবার নল 4-পাকস্থলী ; 5-অগ্ন্যাশয় ; 6-গ্রহণী , 7-উদরপ্রাচীর ; 8-পিত্তসংগ্রাহক থলি , 9-ক্লিপ 10-ত্রিমুখী কাচনল , 11-পিত্তাশয়।

পিত্ত সাধারণ পিত্তনালীর উভয় খণ্ড ও ত্রিমুখী কাচনল বাহিয়া ক্ষুদ্রান্ত্রে যায়। প্রয়োজনমত ত্রিমুখী কাচনলের তৃতীয় বাহুসংলগ্ন ক্লিপ খুলিয়া পিত্ত সংগ্রহ করা যায়।

যকৃত হইতে সর্বদাই পিত্ত ক্ষরিত হয়, কিন্তু আহারের প্রায় একঘণ্টা পরে কয়েক ঘণ্টার জন্য পিত্তক্ষরণ অনেক বৃদ্ধি পায়। পিত্তক্ষরণ প্রধানতঃ রক্তে বাহিত রাসায়নিক পদার্থের নিয়ন্ত্রণাধীন।

1. রক্তবাহিত পদার্থের ক্রিয়া : সোডিয়াম গ্লাইকোকোলেট ও সোডিয়াম টওরোকোলেট নামক পিত্তলবণ-দুইটি ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইয়া রক্তের মাধ্যমে যকৃতে গিয়া যকৃত-কোষগুলিকে আরও পিত্তলবণ ও জল ক্ষরণে

উদ্দীপিত করে, ফলে পিত্তের পরিমাণ ও পিত্তে পিত্তলবণের পরিমাণ বাড়ে ; এরূপ বস্তুকে **পিত্ত-উদ্দীপক** (choleretic) পদার্থ বলে। স্বাভাবিক অবস্থায় অন্ত্র-যকৃত সংবহনের (9.6 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) ফলে যকৃতে আগত পিত্তলবণগুলিই এভাবে পিত্তক্ষরণ ঘটায় ; পিত্তলবণগুলির মধ্যে টওরোকোলেটের পিত্ত-উদ্দীপক ক্রিয়াই অধিক। আবার অ্যাসিড-মিশ্রিত খাদ্যমণ্ডের (acid chyme) ক্রিয়ায় গ্রহণী হইতে ক্ষরিত সিক্রিটিন এবং পিত্তলবণের বিপাকজাত ডিহাইড্রোকোলেট রক্তের মাধ্যমে যকৃতে আসিয়া প্রচুর পরিমাণে লঘু ও জলীয় পিত্তের ক্ষরণ উদ্দীপিত করে, কিন্তু সেই পিত্তে পিত্তলবণের পরিমাণ কম থাকে ; এরূপ বস্তুগুলিকে **পিত্তজলোদ্দীপক** (hydrocholeretic) বলে।

2 **নার্ভের ক্রিয়া :** সম্ভবতঃ সমবেদী ও পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি যকৃতের রক্তবাহগুলিকে সংকুচিত ও প্রসারিত করিয়া পরোক্ষে পিত্তক্ষরণকে প্রভাবিত করে। ভেগাসের পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলির পিত্ত-উদ্দীপক ক্রিয়া অ্যাট্রোপিন প্রয়োগে নিবারিত হয়।

9.9 যকৃতের ক্রিয়া (functions of liver)

1. **পিত্তক্ষরণ :** যকৃতের কোষগুলি পিত্ত ক্ষরণ করে। পিত্তের জৈব পিত্তলবণগুলি (bile salts) খাদ্যের ফ্যাট (স্নেহপদার্থ), কোলেস্টেরল এস্টার প্রভৃতির পরিপাক ও শোষণে এবং চর্বিদ্রাব্য ভিটামিনগুলির শোষণেও অপরিহার্য। তাহা ছাড়া পিত্তের সহিত কোলেস্টেরল, লেসিথিন, বিলিরুবিন প্রভৃতি অন্ত্রে বাহির হইয়া যায়। (বিস্তারিত আলোচনার জন্য 9.3 ও 9.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য।)

2. **রেচন (excretion) :** তামা, দস্তা, লৌহ, পারদ প্রভৃতির লবণ, অ্যাল্‌ক্যালাইন ফস্‌ফাটেজ, কোলেস্টেরল, বিলিরুবিন, স্টেরয়েড হর্মোন, লেসিথিন, ইউরিক অ্যাসিড, নানাপ্রকার জীববিষ (toxin) ও ঔষধ পিত্তের সহিত অন্ত্রে আসিয়া মলে বাহির হয়।

3. **রক্ত-সম্পর্কিত ক্রিয়া :** (*a*) ভ্রূণ অবস্থার প্রথমার্ধে যকৃতে লোহিত রক্তকণিকা উৎপন্ন হয় ; অ্যানিমিয়া এবং অন্য কয়েকটি রোগে প্রাপ্তবয়স্কের যকৃতে এই কার্য পুনরায় শুরু হইতে পারে। (*b*) রক্তরসের অ্যালবুমিন, অ্যালফা- ও বিটা-গ্লোবিউলিন, ফাইব্রিনোজেন, প্রোথ্রম্বিন এবং অ্যালফা- ও বিটা-লাইপোপ্রোটিন যকৃতেই সংশ্লেষিত হয়। (*c*) যকৃতের যোগকলার মাস্ট কোষ হইতে ক্ষরিত **হেপারিন** রক্তরসে তঞ্চননিবারক (anticoagulant) রূপে কাজ করে। (*d*) যকৃতের কাপফার-কোষগুলি ক্ষণপাদের সাহায্যে পুরাতন

ও ক্ষতিগ্রস্ত লোহিত রক্তকণিকাগুলিকে রক্ত হইতে তুলিয়া লইয়া তাহাদের ধ্বংস করে এবং হিমোগ্লোবিনকে ভাঙ্গিয়া বিলিরুবিন ও বিলিভার্ডিন উৎপাদন করে। (*e*) কিছু পরিমাণে রক্ত যকৃতে সঞ্চিত থাকিতে পারে।

4. **দেহের সুরক্ষা (body defence) :** কাপফার-কোষগুলি রক্ত হইতে নানা ক্ষতিকর পদার্থকে ক্ষণপাদের সাহায্যে গ্রাস করিয়া ধ্বংস করে।

5. **নির্বিষকরণ (detoxication) :** প্রধানতঃ যকৃতে বিভিন্ন এনজাইমের সাহায্যে নানা রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটাইয়া হানিকর বা নিষ্ক্রিয় রাসায়নিক পদার্থগুলিকে অপেক্ষাকৃত সহজদ্রাব্য ও রেচনোপযোগী পদার্থে পরিণত করা হয়। এভাবে নির্বিষকরণের সময়ে কোনও কোনও হানিকর পদার্থ যকৃতে জারিত (oxidized) হইয়া যায় (যথা, ক্লোরাল হাইড্রেটের জারণে ট্রাইক্লোরোঅ্যাসিটেটের উৎপাদন এবং ইথানলের জারণে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপাদন), কোনও পদার্থ বিজারিত (reduced) হয় (যথা, পিক্রিক অ্যাসিড হইতে পিক্রামিক অ্যাসিড এবং ক্লোরাল হাইড্রেট হইতে ট্রাইক্লোরোইথানল উৎপাদন), কোনও পদার্থকে জলবিশ্লিষ্ট (hydrolysed) করা হয় (যথা, অ্যাস্‌পিরিনের জলবিশ্লেষে অ্যাসিটেট ও স্যালিসাইলেট উৎপাদন), আবার অনেকক্ষেত্রে হানিকর অণুটির সহিত অন্য কোনও বিপাকজাত (metabolic) পদার্থের মিলন (conjugation) ঘটাইয়া একটি যুগ্ম অণুর সৃষ্টি করা হয় (যথা, বিলিরুবিনের সহিত গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড জুড়িয়া বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইড উৎপাদন অথবা হানিকর বেন্‌জোয়িক অ্যাসিডের সহিত গ্লাইসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডটি জুড়িয়া হিপ্‌পিউরিক অ্যাসিড উৎপাদন)। এক বা একাধিক পদ্ধতিতে নির্বিষকরণের পরে বিক্রিয়াজাত পদার্থটিকে প্রধানতঃ মূত্রে বা পিত্তে রেচন করা হয়।

6. **কার্বোহাইড্রেটের বিপাক :** (*i*) যকৃত যথেষ্ট পরিমাণে গ্লাইকোজেন সঞ্চয় করে। (*ii*) অন্ত্র হইতে শোষিত গ্লুকোজ প্রভৃতি হেক্সোজকে রক্ত হইতে সংগ্রহ করিয়া যকৃত-কোষগুলি তাহাদের গ্লাইকোজেনে পরিণত করে (**গ্লাইকোজেনেসিস,** glycogenesis)। (*iii*) রক্তে গ্লুকোজের পরিমাণ কমিলে যকৃত সঞ্চিত গ্লাইকোজেন ভাঙ্গিয়া গ্লুকোজ উৎপাদন করিয়া রক্তে ছাড়িয়া দেয় (**গ্লাইকোজেনোলাইসিস,** glycogenolysis)। (*iv*) অ্যামাইনো অ্যাসিড, গ্লিসেরল এবং কার্বোহাইড্রেটের বিপাকজাত নানা বস্তু যকৃতে গ্লুকোজ বা গ্লাইকোজেনে রূপান্তরিত হয় (**গ্লুকোনিওজেনেসিস,** gluconeogenesis)। (*v*) একদিকে গ্লাইকোজেনেসিস এবং অন্যদিকে গ্লাইকোজেনোলাইসিস

ও গ্লুকোনিওজেনেসিসের মধ্যে প্রয়োজনমত ভারসাম্য রাখিয়া যকৃত রক্তে গ্লুকোজের মাত্রা অপরিবর্তিত রাখে। (*vi*) পেণ্টোজ ফসফেট পথের মাধ্যমে যকৃত হেক্সোজ হইতে পেণ্টোজ শর্করা উৎপাদন করে। (*vii*) যকৃতে গ্লুকোজ, গ্যাল্যাক্টোজ প্রভৃতি হইতে নানাপ্রকার হেক্সোজঅ্যামাইন ও হেক্সিউরোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। (*viii*) যকৃতে ক্রেব্‌স্ চক্রের (Krebs' cycle) মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেটের বায়ব (aerobic) বিপাক ঘটিয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড, জল ও প্রভূত শক্তি উৎপন্ন হইতে পারে।

7. **ফ্যাটের বিপাক :** (*i*) অন্ত্র হইতে শোষিত ফ্যাট (স্নেহপদার্থ) যকৃতে পৌঁছাইলে যকৃত তাহা হইতে দ্রুত ফসফোলিপিড সংশ্লেষণ করিয়া উহাকে রক্তে ছাড়িয়া দেয় এবং উহা মেদকলায় (adipose tissue) গিয়া চর্বিতে পরিণত হইয়া সঞ্চিত থাকে। কোনও কারণে যকৃতে ফসফোলিপিডের উৎপাদন ব্যাহত হইলে অথবা মাত্রাতিরিক্ত ফ্যাট যকৃতে আসিলে যকৃত চর্বিভারাক্রান্ত হইয়া পড়ে (fatty liver)। (*ii*) যকৃতে গ্লিসেরল ও ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ (oxidation) ঘটে; জোড়-সংখ্যক কার্বনবিশিষ্ট ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণের ফলে যকৃতেই কিটোনবর্গীয় বস্তুগুলির (ketone bodies) উৎপত্তি হয়। (*iii*) যকৃতে ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণ, তাহাদের পরস্পরে পরিবর্তন এবং তাহাদের সাহায্যে ফ্যাটের সংশ্লেষণ ঘটিয়া থাকে, তবে লাইনোলেইক, লাইনোলেনিক ও অ্যারাকিডোনিক অ্যাসিড নামক তিনটি অসংপৃক্ত (unsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিড যকৃতে সংশ্লেষিত হইতে পারে না। (*iv*) যকৃত লাইপোপ্রোটিন সংশ্লেষণ করে।

8. **কোলেস্টেরলের বিপাক :** (*i*) যকৃতে অ্যাসিটেট হইতে কোলেস্টেরল সংশ্লেষিত হয়। (*ii*) যকৃতে টওরোকোলিক ও গ্লাইকোকোলিক অ্যাসিড নামক পিত্ত-অ্যাসিডে (bile acids) পরিণত হওয়াই দেহে কোলেস্টেরলের প্রধান পরিণাম। (*iii*) যকৃত কিছু কোলেস্টেরলকে মুক্ত অবস্থায় এবং আরও কিছু কোলেস্টেরলকে কোলেস্টেরল এস্টারে পরিণত করিয়া রক্তরসে ছাড়িয়া দেয়। (*iv*) যকৃত প্রয়োজনের অতিরিক্ত কোলেস্টেরলকে পিত্তে রেচন করে।

9. **প্রোটিনের বিপাক :** (*i*) যকৃত অ্যামাইনো অ্যাসিড দিয়া রক্তরসের বিভিন্ন প্রোটিন সংশ্লেষণ করে। (*ii*) অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গটিকে একটি কিটো-অ্যাসিডের অণুতে স্থানান্তরিত করিয়া যকৃত শেষোক্ত বস্তুটিকে নূতন অ্যামাইনো অ্যাসিডে পরিণত করে (**অ্যামাইনো-স্থানান্তরণ**, transamination)। (*iii*) যকৃত বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিড

অণু হইতে অ্যামাইনো বর্গ, গন্ধক বর্গ (SH group) প্রভৃতিকে বিচ্ছিন্ন করিয়া দেয় ; ফলে অ্যামোনিয়া, হাইড্রোজেন সাল্ফাইড প্রভৃতি উৎপন্ন হয় এবং অ্যামাইনো অ্যাসিডটি কিটো-অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয় (যথাক্রমে **অ্যামাইনো-হরণ ও গন্ধকহরণ,** deamination and desulfuration) । (*iv*) অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে বিচ্ছিন্ন অ্যামাইনো বর্গ এবং অ্যামোনিয়া হইতে যকৃতে ইউরিয়া সংশ্লেষিত হয় । (*v*) যকৃতে গুয়ানিডোঅ্যাসিটেট ও মেথিওনিনের সাহায্যে ক্রিয়াটিন সংশ্লেষিত হয় । (*vi*) যকৃতে বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে হিস্টামিন, সেরোটোনিন প্রভৃতি গুরুত্বপূর্ণ ও সক্রিয় অ্যামাইন এবং গ্লুটামিন নামক একটি গুরুত্বপূর্ণ অ্যামাইড সংশ্লেষিত হয় ।

10. **নিউক্লিইক অ্যাসিডের বিপাক :** (*i*) যকৃতে অ্যামাইনো অ্যাসিড, ফর্মেট, গ্লুটামিন প্রভৃতির সাহায্যে পিউরিন ও পিরিমিডিন-ঘটিত নিউক্লিওটাইডগুলি সংশ্লেষিত হয় । (*ii*) যকৃতে পিউরিন ও পিরিমিডিনের বিপাকের ফলে যথাক্রমে ইউরিক অ্যাসিড ও ইউরিয়া উৎপন্ন হয় । মানবেতর বহু প্রাণীর যকৃতে ইউরিক অ্যাসিড আরও বিপাকের মাধ্যমে অ্যাল্যান্টইন, অ্যাল্যানটইক অ্যাসিড প্রভৃতিতে পরিণত হয় ।

11. **অজৈব লবণের সঞ্চয় :** লৌহ প্রধানতঃ ফেরিটিন ও হিমোসাইডেরিন নামক দুইটি লৌহ-প্রোটিন যৌগের আকারে এবং তামা মুখ্যতঃ সুপার-অক্সাইড ডিস্‌মিউটেজ নামক তাম্রঘটিত এনজাইম রূপে যকৃতে সঞ্চিত থাকে ।

12. **ভিটামিন ও হর্মোনের বিপাক :** বিভিন্ন ভিটামিন ও হর্মোন যকৃতে বিপাক ও নির্বিষকরণের (detoxication) মাধ্যমে নিষ্ক্রিয় ও সহজরেচ্য (easily excretable) পদার্থে পরিণত হয় । বিভিন্ন বি-বর্গীয় ভিটামিন. ভিটামিন ডি, এ প্রভৃতি যকৃতে সঞ্চিত থাকে । মানবদেহে মুখ্যতঃ যকৃতেই ক্যারোটিন হইতে ভিটামিন এ সংশ্লেষিত হয় ।

9.10 যকৃতের ক্রিয়া পরীক্ষা

1. **নির্বিষকরণ পরীক্ষা (detoxication test) :** যকৃত হানিকর বেন্‌জোয়িক অ্যাসিডের সহিত গ্লাইসিন জুড়িয়া নিষ্ক্রিয় হিপ্‌পিউরিক অ্যাসিড উৎপাদন করে এবং তাহা মূত্রে বাহির হয় । নির্দিষ্ট মাত্রায় সোডিয়াম বেন্‌-জোয়েট দ্রবণ রোগীর শিরায় ইন্‌জেকশন দিয়া তাহার একঘণ্টার মূত্রে হিপ্‌পিউরিক অ্যাসিডের পরিমাণ মাপা হয় ।

2. রেচনশক্তির পরীক্ষা (excretory function tests) :

(a) ব্রোমোসাল্‌ফেলিন রেচন পরীক্ষা : শিরায় নির্দিষ্ট পরিমাণে ব্রোমেসাল্‌ফেলিন ইন্‌জেক্‌শনের আধঘন্টা পরে রক্তে উহার পরিমাণ নির্ণয় করা হয়।

(b) বিলিরুবিন সহনশীলতা (tolerance) পরীক্ষা : নির্দিষ্ট পরিমাণে বিলিরুবিন রক্তে ইন্‌জেক্‌শনের পরে চারঘন্টা পর্যন্ত রক্তরসে তাহার মাত্রার ক্রমপরিবর্তন নির্ণয় করা হয়।

(c) ইক্‌টেরিক সূচক (icteric index) নির্ণয় : দেহে বিলিরুবিনের অত্যধিক উৎপাদন, রক্ত হইতে বিলিরুবিন অপসারণে যকৃতের ব্যর্থতা, অথবা পিত্তনালীতে অবরোধের ফলে পিত্তের বিলিরুবিন রক্তে শোষিত হইয়া যাওয়া—এই সকল কারণে বিলিরুবিনের মাত্রাধিক্যের জন্য রক্তমস্তু (serum) গভীরতর পীতবর্ণ ধারণ করে এবং ন্যাবা হয়। এই অবস্থা নির্ণয়ের জন্য আলোকতড়িৎ বর্ণমাপকে (photoelectric colorimeter) নির্দিষ্ট গাঢ়ত্বের ডাইক্রোমেট দ্রবণের বর্ণের সহিত তুলনা করিয়া রোগীর রক্তমস্তুর পীতবর্ণের তীব্রতা মাপা হয় : বর্ণের নির্ণীত তীব্রতাই ইক্‌টেরিক সূচক বা ন্যাবার সূচক রূপে পরিচিত।

(d) ভ্যান ডেন বের্ঘ পরীক্ষা : লোহিত রক্তকণিকার বিনাশজাত মুক্ত বিলিরুবিন বিশেষ জলদ্রাব্য নয় : যকৃত উহাকে জলদ্রাব্য বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইডে পরিণত করিয়া পিত্তে ক্ষরণ করে। পিত্তনালীতে কোনও অবরোধের ফলে শেষোক্ত যৌগটি পিত্ত হইতে রক্তে শোষিত হইলে রক্তে উহার পরিমাণ বাড়িয়া ন্যাবা হয়। ভ্যান ডেন বের্ঘ-এর প্রথম পরীক্ষায় রক্তমস্তুর সহিত এহরলিখ-প্রস্তাবিত ডায়াজো-বিকারকের (Ehrlich's diazo reagent) জলীয় দ্রবণ মিশাইয়া বর্ণমাপকের (colorimeter) সাহায্যে রক্তমস্তুর বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইড ও ডায়াজো-বিকারকের বিক্রিয়াজাত যৌগের রক্তাভ বর্ণের তীব্রতা মাপা হয় ; ইহা হইতে বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইডের পরিমাণ নির্ণীত হয়। আবার লোহিত কণিকার অত্যধিক বিনাশের ফলে রক্তে স্বল্পদ্রাব্য মুক্ত বিলিরুবিনের মাত্রা বাড়িয়া ন্যাবা হয় ; ইহা নির্ণয়ের জন্য ভ্যান ডেন বের্ঘ-এর দ্বিতীয় পরীক্ষায় রক্তমস্তুর সহিত মিথাইল অ্যালকোহল ও ডায়াজো-বিকারক মিশাইয়া কিছুক্ষণ পরে উৎপন্ন রক্তাভ বর্ণের তীব্রতা মাপিয়া মুক্ত ও গ্লুকুরোনাইড-যুক্ত, উভয় আকারের বিলিরুবিনের মোট পরিমাণ বাহির করা হয়।

3. বিপাকক্রিয়ার পরীক্ষা (metabolic function tests) :

(a) থাইমল-পংকিলতা পরীক্ষা : যকৃতের কোনও কোনও রোগে

সেখানে গ্লোবিউলিনের উৎপাদন বাড়িয়া রক্তমস্তুতে ঐ জাতীয় প্রোটিনের মাত্রাধিক্য ঘটে। ইহা নির্ণয়ের জন্য রক্তমস্তুতে থাইমল দ্রবণ মিশাইয়া বর্ণ-মাপকের সাহায্যে গ্লোবিউলিনের অধঃক্ষেপণ-জনিত পঙ্কিলতা (turbidity) মাপা হয়।

(b) গ্যাল্যাক্টোজ সহনশীলতা (tolerance) পরীক্ষা : যকৃতের কোষগুলি ক্ষতিগ্রস্ত হইলে গ্যাল্যাক্টোজকে গ্লুকোজে বা গ্লাইকোজেনে পরিবর্তিত করিতে পারে না। রোগীকে নির্দিষ্ট পরিমাণে গ্যাল্যাক্টোজ দ্রবণ ইন্‌জেকশন দিবার পরে নিয়মিত সময় অন্তর $1\frac{1}{4}$ ঘণ্টা পর্যন্ত রক্তে উহার পরিমাণের ক্রমপরিবর্তন নির্ণয় করিয়া যকৃতের গ্যাল্যাক্টোজ বিপাকের ক্ষমতা মাপা হয়।

(c) গ্লাইকোজেন সঞ্চয় পরীক্ষা : যকৃতে যথেষ্ট গ্লাইকোজেন সঞ্চিত না থাকিলে অ্যাড্রেন্যালিন ইন্‌জেক্‌শনের প্রভাবে রক্তে গ্লুকোজ বিশেষ বাড়ে না। বারো ঘণ্টা উপবাসের পরে রোগীর রক্ত সংগ্রহ করিয়া তাহাকে অ্যাড্রেন্যালিন ইন্‌জেকশন দেওয়া হয় এবং নিয়মিত সময় অন্তর এক ঘণ্টা পর্যন্ত বারবার তাহার রক্ত সংগ্রহ করা হয়। প্রত্যেকবারের সংগৃহীত রক্তে গ্লুকোজের পরিমাণ নির্ণয় করিয়া অ্যাড্রেন্যালিনের প্রভাবে রক্তশর্করার বৃদ্ধি সম্বন্ধে বিচার করা হয়।

(d) মুক্ত ও এস্টার-রূপী কোলেস্টেরলের অনুপাত : রক্তে মুক্ত ও এস্টার-রূপী, উভয় প্রকার কোলেস্টেরলের গাঢ়তা নির্ণয় করিয়া যকৃতে কোলেস্টেরল বিপাকের অবস্থা বিচার করা হয়।

4. রক্তমস্তুতে এনজাইম পরীক্ষা : বিভিন্ন রোগে যকৃত-কোষগুলি ক্ষতিগ্রস্ত হইলে সেগুলি হইতে নানাপ্রকার এনজাইম রক্তরসে প্রবেশ করিয়া সেখানে ঐ সকল এনজাইমের পরিমাণ ও ক্রিয়া বাড়ায়। রক্তমস্তুতে অ্যাল-ক্যালায়িন ফসফাটেজ, গ্লুটামেট পাইরুভেট ট্রান্সঅ্যামাইনেজ প্রভৃতি এনজাইমের ক্রিয়া মাপিয়া যকৃতের নানা রোগের সম্ভাব্যতা বিচার করা যায়।

দশম পরিচ্ছেদ

পিত্তাশয়

10.1 পিত্তাশয়ের আণুবীক্ষণিক গঠন (histology of gall bladder)

পিত্তাশয়ের গাত্রে বাহির হইতে ভিতরদিকে পরপর কলার স্তরগুলি নিম্নরূপ (চিত্র 10.1)।

1. **সেরাস স্তর (serous coat) :** সর্বাপেক্ষা বাহিরের স্তরটি অ্যারিওলার কলার ঝিল্লী দিয়া গঠিত এবং উদরগহ্বরের মেসেন্টারি ঝিল্লীর সহিত সংযুক্ত। এই স্তরে যোগকলার ভিতরে কিছু চর্বিকোষ, রক্তবাহ, নার্ভতন্তু প্রভৃতি দেখা যায়।

2. **তন্তু-পেশীস্তর (fibro-muscular layer) :** ভিতরের দিকে পরবর্তী স্তরটি প্রধানতঃ তির্যকভাবে (obliquely) বিন্যস্ত অনৈচ্ছিক পেশীতন্তু ও তাহাদের ফাঁকে ফাঁকে স্থিতিস্থাপক (elastic) যোগকলা তন্তুতে গঠিত। এই স্তরে কিছু বৃত্তাকারে বা দৈর্ঘ্যবরাবর সজ্জিত পেশীতন্তুও থাকে। পেশীতন্তুগুলির সংকোচনে পিত্তাশয় সংকুচিত হয়; স্থিতিস্থাপক তন্তুর জন্য পিত্তাশয়ে যথেষ্ট পিত্ত সঞ্চিত থাকিতে পারে।

3. **শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (mucous membrane) :** পিত্তাশয়ের বিবরমুখী স্তর বা শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে বহু ভাঁজ থাকায় শূন্য পিত্তাশয়ের ভিতরটিকে মৌচাকের মত দেখায়। পিত্তাশয় পিত্তে ভরিয়া ফুলিয়া উঠিলে এই ভাঁজগুলি ছড়াইয়া গিয়া শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীকে অটুট রাখে। অ্যারিওলার যোগকলায় গঠিত জমিতে গ্রন্থি বিরল, ঝিল্লীপেশীও (muscularis mucosae) নাই। শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর বিবরমুখী (luminal) পৃষ্ঠ একসারি দীর্ঘ স্তম্ভাকার (columnar) আবরক কোষে (epithelial cell) আবৃত। কোষগুলির মুক্ত প্রান্তে বহু মাইক্রোভিলাই এবং পাদদেশের নিকটে গোল বা ডিম্বাকার লঘুবর্ণ নিউক্লিয়াস থাকে; নিউক্লিয়াস ও মুক্ত প্রান্তের মধ্যবর্তী সাইটোপ্লাজমে বহু দানা (granules), গলগি-অঙ্গ, মাইটোকনড্রিয়া ও এনডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম বর্তমান—মুক্ত প্রান্তের ঠিক ভিতরের স্তরের সাইটোপ্লাজমে এই সকল বস্তু থাকে না। সাইটোপ্লাজমে শ্লেষ্মাকণা থাকায় কোষগুলির শ্লেষ্মাক্ষরণের ক্ষমতা বোঝা যায়; মুক্ত প্রান্তের মাইক্রোভিলাই কোষগুলির শোষণক্ষমতা বাড়ায়।

10.2 পিত্তাশয়ের ক্রিয়া (functions of gall bladder)

1. **পিত্তসঞ্চয় :** ঘোড়া, গাধা, হরিণ প্রভৃতি প্রাণীর পিত্তাশয় নাই—তাহাদের পিত্ত যকৃত হইতে সোজাসুজি ক্ষুদ্রান্ত্রে আসে। মানুষ ও গোমহিষাদি যে সকল প্রাণীর পিত্তাশয় আছে, তাহাদের ক্ষুদ্রান্ত্রে খাদ্য না থাকিলে ওডাই পেশীবলয় (sphincter Oddi) সংকুচিত থাকে এবং যকৃত হইতে আগত পিত্ত ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রবেশ করিতে না পারিয়া সাধারণ পিত্তনালীতে (common bile duct) জমিতে থাকে ; ক্রমে শেষোক্ত নালীতে পিত্তের চাপ 70 মিলিমিটার জলের মত উঠিলে সেই পিত্ত পিত্তাশয়-নালী (cystic duct) দিয়া গিয়া পিত্তাশয়ে সঞ্চিত হইতে থাকে। পিত্তাশয়ের গাত্রে স্থিতিস্থাপক (elastic) তন্তু থাকায় সেখানে যথেষ্ট পিত্ত সঞ্চিত হইতে পারে—সাধারণতঃ পিত্তাশয় প্রায় 60 মিলিলিটার পিত্ত সঞ্চিত রাখে। 12 ঘণ্টায় প্রায় 300-400 মিলি-লিটার পিত্ত যকৃত হইতে ক্ষরিত হয়। কিন্তু পিত্তাশয়ে সঞ্চয়ের সময়ে জল ও অজৈব লবণ শোষিত হইয়া ইহা অন্ততঃ 5 গুণ গাঢ়তর হইয়া যায় এবং প্রায় 60 মিলিলিটার ঘন পিত্তে পরিণত হয়। অতএব জল শোষণ করিবার ক্ষমতা থাকায় পিত্তাশয় যকৃত হইতে প্রায় 12 ঘণ্টায় ক্ষরিত পিত্তকে সঞ্চয় করিতে পারে। খাদ্য ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রবেশ করিলে ফ্যাট (স্নেহপদার্থ), সাবান, দীর্ঘাণু ফ্যাটি (চর্বিজাতীয়) অ্যাসিড, প্রোটিওস, পেপ্‌টোন, অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রভৃতি বস্তুর রাসায়নিক ক্রিয়ায় ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রথমাংশের ঝিল্লী হইতে **কোলেসিস্টো-কাইনিন-প্যানক্রিয়োজাইমিন** নামক পেপ্‌টাইড হর্মোনটি রক্তে ক্ষরিত হয় (7.5 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) এবং পিত্তাশয়ে পৌঁছিয়া তাহার পেশীগুলির সংকোচন ঘটায় ; হর্মোনটি রক্তের প্রবাহে ওডাই পেশীবলয়ে পৌঁছিয়া তাহাকে শিথিল করে। ফলে সঞ্চিত পিত্ত পিত্তাশয় হইতে অন্ত্রে প্রবেশ করে। কোলেসিস্টো-কাইনিন-প্যান্ক্রিয়োজাইমিনের মত যে সকল রাসায়নিক পদার্থ পিত্তাশয়ের সংকোচন ঘটাইয়া ক্ষুদ্রান্ত্রে পিত্তের প্রবাহ বর্ধিত করে তাহাদের **পিত্তবর্ধক** (cholagogue) বলে। ইহা ছাড়া খাদ্য ক্ষুদ্রান্ত্রে আসিলে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের গ্রাহকগুলির (receptors) উদ্দীপনা ঘটিয়া প্রতিবর্তের (reflex) সৃষ্টি হইতে পারে, ফলে ভেগাস্ নার্ভের পরাসমবেদী (parasympathetic) নার্ভতন্তু বাহিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) পিত্তাশয়ে আসিয়া তাহার সংকোচন ঘটাইতে পারে, কিন্তু এই সংকোচন কোলেসিস্টোকাইনিন-প্রসূত সংকোচন অপেক্ষা দুর্বলতর। ক্ষুদ্রান্ত্রের গাত্রে প্রবহমান প্রতিটি ক্রমসংকোচ (peristalsis) তরঙ্গের অব্যবহিত পূর্বে যে শৈথিল্যের তরঙ্গ বহিয়া যায়, তাহা ওডাই পেশীবলয়ে পৌঁছিয়া সাময়িকভাবে উহাকে শিথিল করিয়া অন্ত্রে পিত্তের প্রবেশে সহায়তা করে।

2. **শোষণ (absorption) :** পিত্তাশয়ে সঞ্চিত পিত্ত হইতে যথেষ্ট জল ও অজৈব লবণ শোষিত হইয়া যায়, ফলে যকৃত হইতে সদ্য-আগত পিত্তে 97·3% জলের তুলনায় পিত্তাশয় হইতে নিঃসৃত পিত্তে মাত্র 88·9% জল বর্তমান। পিত্তাশয়ের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর স্তম্ভাকার কোষগুলি পিত্ত হইতে সক্রিয়ভাবে সোডিয়াম ও ক্লোরাইড আয়ন শোষণ করিয়া লয়; পিত্তাশয়ের বিবরে উহাদের গাঢ়তা রক্তে উহাদের গাঢ়তা অপেক্ষা কম থাকিলেও উহাদের শোষণ চলিতে থাকে। কোষগুলির মুক্ত প্রান্তে মাইক্রোভিলাস থাকায় এই কার্যে সাহায্য হয়। পিত্তাশয়ে সোডিয়াম ও ক্লোরাইড আয়নের শোষণের সময়ে তাহাদের প্রভাবজনিত অভিস্রবণের (osmosis) ফলে জলের শোষণ ঘটিয়া থাকে।

3. **অম্লীকরণ (acidification) :** সঞ্চিত পিত্ত হইতে পিত্তাশয়ে বেশ কিছু বাইকার্বনেট শোষিত হইয়া যাওয়ায় পিত্তের ক্ষারত্ব (alkalinity) কমিয়া পিত্ত সামান্য অম্লধর্মী হইয়া যাইতে পারে—মানুষের যকৃত হইতে ক্ষরিত পিত্ত ও পিত্তাশয়ের পিত্তের গড় পি-এইচ যথাক্রমে 8.0 এবং 6.4।

4. **ক্ষরণ (secretion) :** পিত্তাশয়ের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর স্তম্ভাকার কোষগুলি হইতে একপ্রকার শ্লেষ্মাপ্রধান, গাঢ় ও বর্ণহীন রস ক্ষরিত হয়, ফলে পিত্তাশয়ে সঞ্চিত পিত্তের সান্দ্রতা (viscosity) ও শ্লেষ্মার (mucin) পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

5. **পিত্তনালীতে পিত্তচাপ নিয়ন্ত্রণ :** মানবেতর বহু প্রাণীতে ইহাই পিত্তাশয়ের প্রধান ক্রিয়া। পিত্তাশয়ের গাত্রে স্থিতিস্থাপক (elastic) কলা থাকায় অনেকখানি পিত্ত সঞ্চয়ের পরেও সেই অনুপাতে পিত্তাশয়ে চাপ বাড়ে না। কোনও কারণে পিত্তনালীগুলি হইতে পিত্ত ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রবেশ করিতে না পারিলে সেই অতিরিক্ত পিত্ত পিত্তাশয়ে জমিতে থাকে, সহজে পিত্তনালীগুলিতে জমিয়া সেখানে পিত্তচাপ বাড়াইতে পারে না। পিত্তাশয় অপসারণের পরে পিত্তনালী হইতে পিত্তের প্রবাহে ব্যাঘাত ঘটিলে পিত্তনালীগুলিতে পিত্তচাপ দ্রুত বাড়িয়া পিত্ত রক্তে প্রবেশ করিতে থাকে এবং অচিরে ন্যাবা (jaundice) হয়। পিত্তচাপ নিয়ন্ত্রণে পিত্তাশয়ের এই ভূমিকার মূলে আছে তাহার শোষণক্ষমতা—সঞ্চিত পিত্তের জল দ্রুত শোষণ করিয়া তাহার পরিমাণ কমাইয়া এবং নিজ গাত্রের স্থিতিস্থাপক কলার সাহায্যে অক্লেশে সেই স্বল্প পরিমাণ পিত্তকে ধরিয়া রাখিয়া পিত্তাশয় তাহার সম্ভাব্য চাপকেও যথেষ্ট প্রশমিত করে।

10.3 ন্যাবা (jaundice)

বিভিন্ন অঙ্গের ম্যাক্রোফ্যাজ (macrophage) কোষগুলি লোহিত রক্তকণিকাকে ভাঙ্গিয়া তাহার হিমোগ্লোবিন হইতে বিলিরুবিন নামক পিত্তরঙ্গক

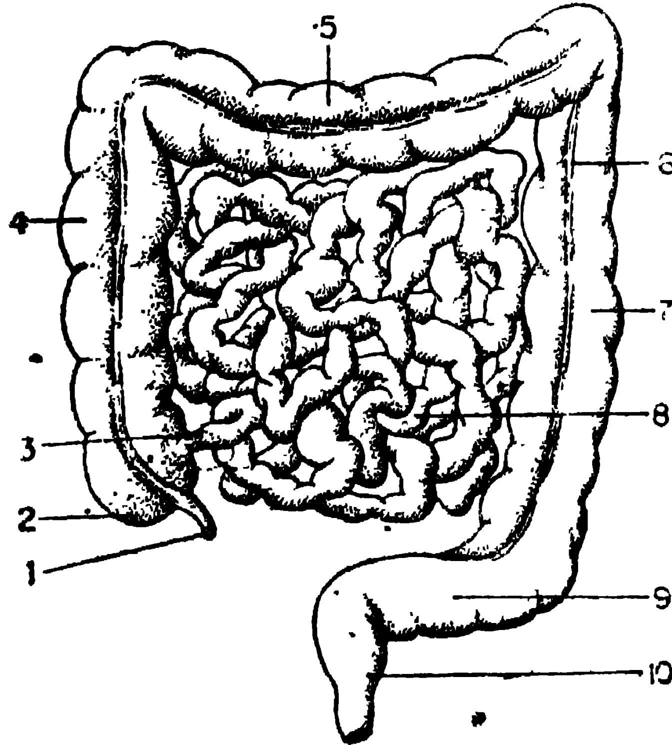
(bile pigment) উৎপাদন করিয়া রক্তে ছাড়িয়া দেয় ; যকৃত-কোষগুলি এই 'মুক্ত' বিলিরুবিনকে রক্ত হইতে অপসারণ করিয়া বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইড বা যৌগবদ্ধ (conjugated) বিলিরুবিনে পরিণত করে এবং তাহাকে পিত্তে ক্ষরণ করে। কোনও কারণে রক্তে পিত্তরঙ্গকের মাত্রাধিক্য ঘটিলে ত্বক ও শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী পীতাভ হইয়া যায় এবং মূত্রে অতিরিক্ত পিত্তরঙ্গক বাহির হয়; এই রোগকে ন্যাবা বলে। প্রথমতঃ, কোনও কারণে প্রচুর লোহিত রক্তকণিকা ভাঙ্গিয়া পড়িলে যকৃত সবটুকু মুক্ত বিলিরুবিনকে রক্ত হইতে অপসারণ করিতে না পারায় রক্তে ও মূত্রে মুক্ত বিলিরুবিন বাড়িয়া গিয়া **রক্তনাশজনিত ন্যাবা** (hemolytic jaundice) হয়। দ্বিতীয়তঃ, পিত্তনালীতে কোনও অবরোধের ফলে পিত্ত অন্ত্রে বাহির হইতে না পারিলে পিত্তাশয়, পিত্তনালী প্রভৃতিতে জমিয়া সেখানে পিত্তচাপ বাড়ায়, ফলে সঞ্চিত পিত্ত রক্তে প্রবেশ করিয়া **বাধাজনিত ন্যাবা** (obstructive jaundice) হয়—এই অবস্থায় রক্তে যৌগবদ্ধ (conjugated) বিলিরুবিন অর্থাৎ বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইডের মাত্রাধিক্য ঘটে এবং মূত্রে তাহার পরিমাণ বাড়ে। তৃতীয়তঃ, রাসায়নিক পদার্থের প্রভাবে বা জীবাণু সংক্রমণের ফলে যকৃত ক্ষতিগ্রস্ত হইলে যকৃত-কোষগুলি রক্ত হইতে মুক্ত বিলিরুবিন অপসারণে ব্যর্থ হয়, ফলে রক্তে ও মূত্রে মুক্ত বিলিরুবিনের মাত্রাধিক্য ঘটে, কিন্তু যৌগবদ্ধ বিলিরুবিন বাড়ে না (**যকৃতজনিত ন্যাবা**, hepatic jaundice)। চতুর্থতঃ, জন্মগত কারণে যকৃত-কোষে বিলিরুবিন গ্লুকুরোনিল ট্রান্সফেরেজ এনজাইমের অভাব ঘটিলে যকৃত-কোষগুলি মুক্ত বিলিরুবিনকে বিলিরুবিন গ্লুকুরোনাইডে পরিণত করিয়া তাহাকে পিত্তে রেচন করিতে পারে না, ফলে রক্তে মুক্ত বিলিরুবিনের মাত্রাধিক্য ঘটিয়া ন্যাবা হয় ; ইহাকে **ক্রিগলার-নাজ্জার রোগ** (Crigler-Najjar syndrome) বলে।

একাদশ পরিচ্ছেদ

বৃহদন্ত্র

11.1 বৃহদন্ত্রের অঙ্গসংস্থান (anatomy of large intestine)

ক্ষুদ্রান্ত্রের শেষপ্রান্ত হইতে অর্থাৎ ইলিও-কোলিক পেশীবলয় (sphincter) হইতে মলদ্বার পর্যন্ত পৌষ্টিক নালীর শেষাংশকে বৃহদন্ত্র বলে, কারণ ক্ষুদ্রান্ত্রের তুলনায় ইহার ব্যাস অনেক বেশি। বৃহদন্ত্রের দৈর্ঘ্য প্রায় 1.5 মিটার। ইহার প্রথমাংশ শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের (ileum) সহিত সংযোগস্থলের নিচে প্রশস্ত ভাণ্ডের মত ঝুলিয়া থাকে; ইহা অন্ধান্ত্র (caecum) নামে পরিচিত, কারণ ইহার নিম্নপ্রান্ত সম্পূর্ণ অবরুদ্ধ (চিত্র 11.1)। অন্ধান্ত্রের উন্মুক্ত উর্ধ্বপ্রান্ত ইলিওকোলিক পেশীবলয়ের উর্ধ্বে বৃহদন্ত্রের দ্বিতীয়াংশ অর্থাৎ মলাশয়ের (colon) সহিত যুক্ত। ইলিও-কোলিক পেশীবলয়ের কিছুটা নিচে অন্ধান্ত্রের মধ্যে ভার্মিফর্ম অ্যাপেন্‌ডিক্স্ (vermiform appendix) নামক একটি ক্ষুদ্র ও সংকীর্ণ নলের মুখ উন্মুক্ত হইয়াছে; অ্যাপেন্‌ডিক্সের অন্য প্রান্তটি রুদ্ধ। মলাশয়ের প্রথমাংশ **উর্ধ্বগামী বা আরোহী মলাশয়** (ascending colon) নামে পরিচিত; ইহা অন্ধান্ত্রের উর্ধ্বপ্রান্ত হইতে উদরের দক্ষিণভাগ দিয়া যকৃতের তলদেশ পর্যন্ত উঠিয়া বামদিকে বাঁকিয়াছে; সেখান



চিত্র 11.1. বৃহদন্ত্রের অংশবিভাগ। 1-অ্যাপেনডিক্স্; 2-অন্ধান্ত্র, 3-ইলিও-কোলিক পেশীবলয়, 4-উর্ধ্বগামী বা আরোহী মলাশয়, 5-অনুপ্রস্থ মলাশয়, 6-টিনিয়া কোলাই; 7-নিম্নগামী বা অবরোহী মলাশয়, 8-ক্ষুদ্রান্ত্র; 9-শ্রোণীদেশীয় মলাশয়, 10-মলনালী।

হইতে দ্বিতীয়াংশ অর্থাৎ **অনুপ্রস্থ মলাশয়** (transverse colon) গ্রহণীর সামনে দিয়া উদরের বামদিকে প্লীহা পর্যন্ত আসিয়াছে। প্লীহার নিকটে বৃহদন্ত্র নিচের দিকে বাঁকিয়া **নিম্নগামী বা অবরোহী** (descending) **মলাশয়ের** আকারে উদরের বামদিক দিয়া শ্রোণীর (pelvis) দিকে নামিয়াছে। অবরোহী মলাশয়ের নিম্নপ্রান্ত হইতে আরম্ভ হইয়া মলাশয়ের চতুর্থাংশ বা **শ্রোণীদেশীয়** (pelvic) **মলাশয়ের** বাঁকা কুণ্ডলীটি দেহের মধ্যরেখার দিকে নামিয়া বৃহদন্ত্রের প্রশস্ততর শেষাংশ অর্থাৎ **মলনালীতে** (rectum) পরিণত হইয়াছে। মলনালী মলদ্বার দিয়া বাহিরে উন্মুক্ত হয়; মলদ্বারের বিবরপথ অনৈচ্ছিক পেশীতে গঠিত **অন্তঃপায়ুবলয়** (internal anal sphincter) এবং ঐচ্ছিক পেশীতে গঠিত **বহিঃপায়ুবলয়** (external anal sphincter) নামক দুইটি পেশীবলয় দ্বারা বেষ্টিত। অন্ধান্ত্র ও মলাশয়ের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে প্রায় 6.5 সেণ্টিমিটার ও 1.3 মিটার।

11.2 বৃহদন্ত্রের আণুবীক্ষণিক গঠন (histology of large intestine)

বৃহদন্ত্রের গাত্রে বাহির হইতে ভিতরের দিকে পরপর কলাস্তরগুলি নিম্নরূপ (চিত্র 11.2)।

1. **সেরাস স্তর (serous coat) :** সর্বাপেক্ষা বাহিরের স্তরটি অ্যারিওলার যোগকলায় গঠিত এবং উদরগহ্বরের মেসেন্টারি ঝিল্লীর সহিত সংযুক্ত; বৃহদন্ত্রের শেষপ্রান্তে সেরাস স্তর নাই। মলনালীর প্রথমাংশের এবং মলাশয়ের সেরাস স্তর হইতে ঝুলিয়া থাকা আলগা অ্যারিওলার কলায় গঠিত কয়েকটি থলিতে (**অ্যাপেন্ডিসেস্ এপিপ্লোয়িকী,** appendices epiploicae) মেদকলার (adipose tissue) আকারে চর্বি সঞ্চিত থাকে।

2. **পেশীস্তর (muscle coat) :** ভিতরের দিকে পরবর্তী স্তরের বাহিরের স্তবকে অনৈচ্ছিক পেশীতন্তুগুলি বৃহদন্ত্রের দৈর্ঘ্যবরাবর লম্বালম্বিভাবে এবং ভিতরের স্তবকে অনৈচ্ছিক পেশীতন্তুগুলি বিবর ঘিরিয়া বৃত্তাকারে সজ্জিত থাকে। দুই পেশীস্তবকের মাঝখানে অবস্থিত নার্ভতন্তুর জটিল জালের (**মায়েন্টেরিক নার্ভজাল,** myenteric plexus) দ্বারা পেশীতন্তুগুলি নিয়ন্ত্রিত হয়। মানুষের মলনালী ব্যতীত মলাশয়ের অবশিষ্টাংশে এবং অন্ধান্ত্রে (caecum) বাহিরের স্তবকের লম্বালম্বি পেশীতন্তুগুলি একত্রিত হইয়া তিনটি দীর্ঘ, সংকীর্ণ অথচ পুরু পেশীগুচ্ছ (**টিনিয়া কোলাই,** taeniae coli) সৃষ্টি করে; ইহাদের দৈর্ঘ্য মলাশয়ের তুলনায় কম হওয়ায় মলাশয়ের গাত্র কয়েকটি থলির (haustra)

মত ফুলিয়া থাকে এবং এই থলিগুলির গাত্রে বৃত্তাকার পেশীস্তবকটি অধিকতর সুগঠিত হয়।

3. অধঃশ্লৈষ্মিক স্তর (submucous coat) : পরবর্তী স্তরের আলগা অ্যারিওলার কলায় রক্তবাহ ও লসিকাবাহের (lymphatic) জাল, নার্ভজাল (nerve plexus) ও লসিকাগুটিকা (lymphatic nodules) বর্তমান। নার্ভ-জালের তন্তুগুলি শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে অবস্থিত গ্রাহক এবং মায়েণ্টেরিক নার্ভ-জালের মধ্যে যোগাযোগ স্থাপন করে।

4. শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (mucous membrane) : মলাশয়ের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর বিবরমুখী (luminal) বা মুক্ত পৃষ্ঠটি স্তম্ভাকার (columnar) ও পানপাত্র (goblet) কোষের একটি সারি দিয়া আবৃত। পানপাত্র কোষের সংখ্যা ক্ষুদ্রান্ত্রের তুলনায় অনেক বেশি। স্তম্ভাকার কোষের মুক্ত প্রান্তে বহু মাইক্রো-ভিলাই থাকায় কোষের ঐ প্রান্তটিকে বুরুশের মত সরেখ (striated) দেখায়। শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর বিবরমুখী পৃষ্ঠটি মলনালীর মলদ্বার-সন্নিহিত অংশে স্তরিত শল্কাকার (stratified squamous) আবরক কলায় এবং মলনালীর অবশিষ্টাংশে সরল স্তম্ভাকার আবরক কলায় আবৃত থাকে। মলাশয়ের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে কোনও ভিলাস না থাকায় এবং মলনালীর শেষাংশে স্তরিত আবরক কলা থাকায় কঠিন মল নামিবার সময়ে শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর আহত হওয়ার আশঙ্কা কমে। শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর ভিতরে যোগকলায় গঠিত ধাত্রে (matrix) যোগকলা তন্তু, বৃহৎ লসিকাগুটিকা এবং দীর্ঘ ও সরল নলাকার গ্রন্থি (**গুহা-গ্রন্থি,** crypts) থাকে। গ্রন্থির গাত্রে বহু পানপাত্র (goblet) কোষ ও স্তম্ভাকার কোষ এবং কয়েকটি রৌপ্যাসক্ত (argentaffin) কোষে গঠিত একটি সারি ভিত্তি-ঝিল্লীর (basement membrane) উপরে সজ্জিত থাকে এবং গ্রন্থির প্রণালী বৃহদন্ত্রের বিবরে গিয়া পড়ে। গ্রন্থিতে প্যানেথ কোষ সাধারণতঃ থাকে না। নিম্নগামী বা অবরোহী মলাশয় ও মলনালীর গ্রন্থিগুলির মূলের নিকটের গাত্রে বহু স্তম্ভাকার কোষের শিখরের (apex) সাইটোপ্লাজমে ক্ষরণীয় বস্তুতে পূর্ণ ও পাংশুবর্ণ কোষগহ্বরের (ক্ষরণ-গহ্বর, secretory vacuole) ভীড় দেখা যায় ; এরূপ কোষকে **গহ্বরপূর্ণ কোষ** (vacuolated cell) বলে। গ্রন্থি ও

চিত্র 11.2. বৃহদন্ত্রের প্রস্থচ্ছেদের আণুবীক্ষণিক গঠন (সম্মুখের পৃষ্ঠায়)। 1-শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী ; 2-অধঃশ্লৈষ্মিক স্তর , 3-পেশীস্তর , 4-সেরাস স্তর ; 5-পানপাত্র কোষ ; 6-গ্রন্থি ; 7-লসিকাগুটিকা , 8-ঝিল্লীপেশী , 9-রক্তবাহ ; 10-বৃত্তাকার পেশীস্তবক ; 11-অনুদৈর্ঘ্য বা লম্বালম্বি পেশীস্তবক।

মুক্ত পৃষ্ঠের আবরক কোষগুলি হইতে ক্ষরিত শ্লেষ্মা খাদ্যাবশেষকে পিচ্ছিল করিয়া তাহার পরিবহনকে সুসাধ্য করে। স্তম্ভাকার কোষের মুক্ত প্রান্তে মাইক্রোভিলাই থাকায় তাহারা নানা বস্তুর শোষণে (absorption) অংশ লইতে পারে ; অবশ্য ভিলাসের অভাব থাকায় খাদ্যের শোষণে বৃহদন্ত্রের ভূমিকা ক্ষুদ্রান্ত্রের তুলনায় সামান্য।

11.3 বৃহদন্ত্রের ক্রিয়া (functions of large intestine)

1. খাদ্যাবশেষের সঞ্চয় : ক্ষুদ্রান্ত্রে পরিপাক ও শোষণের পরে খাদ্য ও পাচকরসগুলির অবশিষ্ট উপাদান ইলিও-কোলিক পেশীবলয় পার হইয়া মলাশয় (colon) ও অন্ধান্ত্রে (caecum) প্রবেশ করে এবং সেখানে দীর্ঘক্ষণ সঞ্চিত থাকে। বৃহদন্ত্রে বহু ঘণ্টা থাকিবার সময়ে তরল খাদ্যমণ্ড হইতে প্রচুর জল শোষিত হইয়া সঞ্চিত বস্তুর আয়তন কমিয়া যাওয়ায় তাহার সঞ্চয় সুসাধ্য হয়। তাহা ছাড়া বৃহদন্ত্রের গাত্রে কিছু কিছু বিপরীত ক্রমসংকোচ (anti-peristalsis) মলনালীর দিক হইতে ক্ষুদ্রান্ত্রের দিকে বহিতে থাকায় মলনালীর দিকে মলের গতি হ্রাস পায়।

2. শোষণ (absorption) : খাদ্যাবশেষের প্রায় 80% জল অভিস্রবণের (osmosis) দ্বারা মলাশয়ে শোষিত হইয়া যাওয়ায় আয়তন ও তারল্য কমিয়া উহা ক্রমে কঠিন মলের আকার পায়। কিছু পরিমাণে অজৈব লবণ, ফোলিক অ্যাসিড, ভিটামিন কে এবং গ্লুকোজ, অল্পস্বল্প বি-বর্গীয় ভিটামিন, অ্যামাইন, স্টেরয়েড, অবেদক (anasthetic) প্রভৃতিও মলাশয় হইতে রক্তে শোষিত হয়। সোডিয়াম আয়ন প্রধানতঃ সক্রিয়ভাবে (actively) শোষিত হয়, কিন্তু গ্লুকোজ-সহ বহু বস্তুর শোষণই প্রধানতঃ ব্যাপন (diffusion) নামক ভৌত পদ্ধতিতে ঘটে। ভিলাস না থাকায় বৃহদন্ত্রের শোষণক্ষমতা ক্ষুদ্রান্ত্রের তুলনায় অনেক কম।

3. রেচন (excretion) : পারদ, সীসা,. আর্সেনিক, বিসমাথ প্রভৃতি ভারী ধাতুর লবণ রক্তে প্রবেশলাভ করিলে বৃহদন্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর কোষগুলি তাহাদের বৃহদন্ত্রের বিবরে বাহির করিয়া দেয় এবং তাহারা মলে বাহির হয়। দেহের স্বাভাবিক কয়েকটি অজৈব আয়নও (যথা, পটাসিয়াম ও বাইকার্বনেট) এভাবে রেচিত (excreted) হইতে পারে।

4. রসক্ষরণ (secretion) : খাদ্যমণ্ড বৃহদন্ত্রে আসিলে তাহার প্রত্যক্ষ সংস্পর্শে মলাশয়ের (colon) গ্রন্থি হইতে রস ক্ষরিত হয় ; খাদ্যমণ্ডের সংস্পর্শে শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর গ্রাহকগুলি (receptors) উদ্দীপিত হইলে বৃহদন্ত্রগাত্রের নার্ভ-

জালের (nerve plexus) সাহায্যে স্থানীয় প্রতিবর্তের (local reflex) মাধ্যমেও এরূপ রসক্ষরণ ঘটিতে পারে। তাহা ছাড়া সুষুম্নাকাণ্ডের ত্রিকাস্থি-খণ্ডকগুলি (sacral segments) হইতে পেল্‌ভিক নার্ভ বাহিয়া আগত পরাসমবেদী নার্ভতন্তু এবং কটি-খণ্ডকগুলি (lumbar segments) হইতে স্প্ল্যাংক্‌নিক নার্ভ বাহিয়া আগত সমবেদী নার্ভতন্তুও এই রসক্ষরণকে প্রভাবিত করিতে পারে। মলাশয়ের গ্রন্থিগুলির রসে জল, শ্লেষ্মা (mucin) এবং অজৈব লবণ বর্তমান, কিন্তু কোনও এনজাইম নাই। যথেষ্ট পরিমাণে সোডিয়াম বাইকার্বনেট থাকায় রসটি ক্ষারধর্মী (পি-এইচ প্রায় ৪)।

5. **জীবাণুঘটিত ক্রিয়া (microbiological actions) :** মলাশয় ও অন্ধান্ত্রে বহু এককোষী প্রাণী (protozoa) এবং ব্যাসিলাস, কক্কাস প্রভৃতি নানা জাতের ব্যাক্‌টেরিয়া থাকে। মানুষের মলাশয়ে এস্‌খেরিচিয়াম কোলাই, বি. বাইফিডাস্, বি. ল্যাক্‌টিস্ এয়ারোজেনেস্, এণ্টেরোব্যাক্‌টার এয়ারোজেনেস্, প্রোটিয়াস ভাল্‌গারিস্ প্রভৃতি জীবাণু উল্লেখযোগ্য। মানুষ এবং মাংসাশী পশুর বৃহদন্ত্র ঘোড়া, গাধা প্রভৃতি উদ্ভিজ্জভোজী পশুর বৃহদন্ত্র অপেক্ষা আয়তনে অনেক ক্ষুদ্রতর এবং জীবাণুর সংখ্যা ও ক্রিয়াতেও অনেক দীনতর। এই পরজীবী জীবাণুগুলির মধ্যে অনেকগুলিরই সহিত মানুষ, পশু প্রভৃতি পোষক (host) প্রাণীগুলির সহজীবিতার (symbiosis) সম্পর্ক। একদিকে মলাশয় ও অন্ধান্ত্রের (caecum) প্রশস্ত পরিসর, তাহাদের বিবরে উষ্ণ, জলীয় ও ক্ষারধর্মী পরিবেশ এবং সেখানে অপাচিত খাদ্যবস্তুর প্রাচুর্য ঐ কক্ষদ্বয়ে জীবাণুর জৈব ক্রিয়া ও বংশবৃদ্ধির সহায়ক ; অপরদিকে জীবাণুর ক্রিয়ায় অপাচিত খাদ্যবস্তু হইতে উৎপন্ন নানা জৈব উপাদান পোষক প্রাণীর পুষ্টির সহায়ক। জীবাণুঘটিত ক্রিয়ায় বৃহদন্ত্রে খাদ্যের মুখ্য পরিবর্তনগুলি নিম্নরূপ।

(a) কার্বোহাইড্রেটের পরিপাক : উদ্ভিদতন্তুর সেলুলোজ, হেমিসেলুলোজ প্রভৃতি বৃহদণু পলিস্যাকারাইডকে পরিপাক করিবার মত কোনও এনজাইম উচ্চশ্রেণীর প্রাণীর পৌষ্টিক নালীতে ক্ষরিত হয় না। বৃহদন্ত্রের কতকগুলি ব্যাক্‌টেরিয়া ঐ পলিস্যাকারাইডগুলির কিণ্বন (fermentation) ও জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া অ্যাসেটিক, প্রোপায়োনিক, বিউটিরিক প্রভৃতি ক্ষুদ্রাণু ফ্যাটি (চর্বিজাতীয়) অ্যাসিড উৎপন্ন করে। উদ্ভিদভোজী প্রাণীর বৃহদন্ত্রে এভাবে প্রচুর পরিমাণে সেলুলোজ ইত্যাদি তান্তব (fibrous) পলিস্যাকারাইড পরিপাক হয় এবং উৎপন্ন ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি মলাশয় ও অন্ধান্ত্র হইতে পোষক প্রাণীর রক্তে শোষিত হয়। কিন্তু মানুষ ও মাংসাশী প্রাণীর ক্ষেত্রে ইহার পরিমাণ ও গুরুত্ব নগণ্য।

(b) ভিটামিন সংশ্লেষণ : মলাশয় ও অন্ধান্ত্রে কোনও কোনও জাতের জীবাণু থিয়ামিন, বায়োটিন, ফোলিক অ্যাসিড, ভিটামিন বি$_{12}$ এবং ভিটামিন কে সংশ্লেষণ (synthesis) করে, তবে ভিটামিন কে ও ফোলিক অ্যাসিড ব্যতীত অন্য ভিটামিনগুলি বৃহদন্ত্র হইতে বিশেষ শোষিত হয় না।

(c) প্রোটিন সংশ্লেষণ : খাদ্যাবশেষে বর্তমান অ্যামোনিয়া ও ইউরিয়া হইতে জীবাণুগুলি তাহাদের দেহের প্রোটিন সংশ্লেষণ করে ; কিন্তু এসকল ব্যাক্‌টেরিয়া-ঘটিত প্রোটিনকে বৃহদন্ত্রে বিশেষ পরিপাক বা শোষণ করা যায় না, ফলে ইহারা প্রায় অপরিবর্তিত আকারে মলে বাহির হয়—বস্তুতঃ মলের নাইট্রোজেন প্রধানতঃ এই সূত্র হইতেই আসে।

(d) পচন (putrefaction) : জীবাণুর ক্রিয়ায় বৃহদন্ত্রে নানা হানিকর ও বর্জ্য দ্রব্যের (waste products) উৎপত্তি হয়। বিলিরুবিনের পচনের ফলে স্টার্কোবিলিনোজেন, কোলেস্টেরলের জীবাণুঘটিত পচনে কপ্রোস্ট্যানল ও কোলেস্ট্যানল এবং কোলিনের পচনের ফলে নিউরিন উৎপন্ন হয়। জীবাণুর ক্রিয়ায় বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গ হইতে কার্বন ডাই-অক্সাইড মুক্ত হইয়া গিয়া টোমেন(ptomaine) বর্গীয় বিষাক্ত অ্যামাইনগুলির উদ্ভব ঘটে, যথা লাইসিন হইতে ক্যাডাভেরিন, হিস্টিডিন হইতে হিস্টামিন, টাইরোসিন হইতে টাইর‍্যামিন, অর্নিথিন হইতে পিউট্রেসিন ইত্যাদি। গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি হইতে মিথাইল মার্ক্যাপ্টান, মিথেন, হাইড্রোজেন সালফাইড এবং অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়। ফিনাইল-বলয়যুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে ফেনল, ক্রেজল, টাইর‍্যামিন, বেন্‌জোয়িক অ্যাসিড প্রভৃতি এবং ইন্‌ডোল-বলয়যুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে ইন্‌ডোল, স্কেটল প্রভৃতির উৎপত্তি ঘটে। এসকল পদার্থের অধিকাংশই মলে বাহির হয় ; অবশ্য ইহারা অল্প পরিমাণে রক্তে শোষিত হইয়া মূত্রে ও পিত্তে বাহির হইতে পারে। পচনের ফলে উৎপন্ন হাইড্রোজেন, মিথেন, কার্বন ডাই-অক্সাইড প্রভৃতি গ্যাস প্রধানতঃ মলদ্বার দিয়া বাহিরে যায়।

11.4 মল (faeces)

অপাচিত (undigested) খাদ্যাবশেষ, বৃহদন্ত্রের জীবাণু, বিভিন্ন পাচক-রসের অবশিষ্টাংশ, পৌষ্টিক নালীর গাত্র হইতে বিচ্ছিন্ন ও স্খলিত কোষ এবং অন্ত্র হইতে রেচিত (excreted) বর্জ্যদ্রব্য (waste products) প্রভৃতি লইয়া

মল গঠিত হয়। মল পীতাভ বাদামীবর্ণ, দুর্গন্ধযুক্ত, ঈষৎ ক্ষারধর্মী বা অম্লধর্মী পদার্থ।

দৈনিক পরিমাণ (আমিষাহারী প্রাপ্তবয়স্কের ক্ষেত্রে) : 100-150 গ্রাম , পি-এইচ : 7-7.5, জল : 70-75% ; কঠিন পদার্থ : 25-35% ; অজৈব লবণ : 5% . জৈব উপাদান : 15-20% ; ইথার-দ্রাব্য পদার্থ : 1-3% ; জীবাণু (দৈনিক মলে) : 8 গ্রাম।

মলের শতকরা 10 ভাগই এস্‌খেরিচিয়াম কোলাই, প্রোটিয়াস ভাল্‌গারিস, বি. ল্যাক্‌টিস্ এয়ারোজেনেস্ প্রভৃতি জীবাণু ; মলের প্রোটিনের অধিকাংশই জীবাণুঘটিত প্রোটিন। তাহা ছাড়া শ্লেষ্মা, কেরাটিন-জাতীয় দুষ্পাচ্য তান্তব (fibrous) প্রোটিন, বিচ্ছিন্ন কোষ, অগ্ন্যাশয়ের ও আন্ত্রিক রসের এনজাইম ইত্যাদির জন্যও মলে প্রোটিন থাকে। পরিপাক বা জীবাণুর ক্রিয়ায় উৎপন্ন কিছু অ্যামাইনো অ্যাসিড এবং জীবাণুর দ্বারা সংশ্লেষিত বিভিন্ন বি-ভিটামিন ও ভিটামিন কে অল্প পরিমাণে মলে বাহির হয়।

কঠিন পদার্থের শতকরা মাত্র 5-10 ভাগ ট্রাইগ্লিসেরাইড, ডাইগ্লিসেরাইড, মোনোগ্লিসেরাইড, মুক্ত ফ্যাটি (চর্বিজাতীয়) অ্যাসিড, সাবান, কোলেস্টেরল প্রভৃতি বস্তু ; ইহারা মলের ইথার-দ্রাব্য (ether-soluble) অংশের অন্তর্গত। খাদ্যের অধিকাংশ ফ্যাট (স্নেহপদার্থ) ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইয়া যাওয়ায় মলে সাধারণতঃ তাহার পরিমাণ অপেক্ষাকৃত কম।

সেলুলোজ, হেমিসেলুলোজ প্রভৃতি দুষ্পাচ্য তান্তব (fibrous) পদার্থের অধিকাংশ অপরিবর্তিত আকারে মলে বাহির হইয়া যায়। সেজন্য খাদ্যে উদ্ভিদতন্তুর আধিক্য থাকিলে মলের পরিমাণ বাড়ে। পিত্তলবণের পচন-ঘটিত ডিস্‌লাইসিন, কোলেস্টেরলের পচনজাত কপ্রোস্ট্যানল ও কোলেস্ট্যানল, অ্যামাইনো অ্যাসিডের পচনজনিত অ্যামাইন, ফেনল, ক্রেজল, ইন্‌ডোল, স্কেটল, মার্ক্যাপ্টান ও ক্যাডাভেরিন, বিলিরুবিন ও তাহার পচনজনিত স্টার্কোবিলি-নোজেন ইত্যাদি বস্তুও অল্পাধিক পরিমাণে মলে বর্তমান। মলের দুর্গন্ধ প্রধানতঃ মার্ক্যাপ্টান, মিথেন, স্কেটল, ইন্‌ডোল ও হাইড্রোজেন সাল্‌ফাইডের জন্য। মলের স্বাভাবিক বর্ণ প্রধানতঃ পিত্তরঞ্জক হইতে উৎপন্ন স্টার্কোবিলিন ও বিলিফুস্‌কিনের (bilifuscin) উপরে নির্ভর করে।

মলের অজৈব লবণের মধ্যে ক্যালসিয়াম, লৌহ, ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতির ফসফেট, ক্লোরাইড, বাইকার্বনেট ও অক্সালেট উল্লেখযোগ্য।

দ্বাদশ পরিচ্ছেদ

পরিপাক ও শোষণ

12.1 কার্বোহাইড্রেটের পরিপাক

পৌষ্টিক নালীতে বিভিন্ন পাচকরসের এনজাইমের সাহায্যে খাদ্যের পলিস্যাকারাইড ও ডাইস্যাকারাইডগুলি জলবিশ্লিষ্ট হইয়া প্রধানতঃ মোনে-স্যাকারাইডে পরিণত হয়। বৃহদন্ত্রে এবং রোমন্থক প্রাণীর যৌগিক পাকস্থলীতে জীবাণুঘটিত কিণ্বনের (fermentation) ফলে সেলুলোজ ও অন্যান্য তান্তব (fibrous) পলিস্যাকারাইড হইতে ক্ষুদ্রাণু ফ্যাটি (চর্বিজাতীয়) অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

1. লালার ক্রিয়া : লালার **টায়ালিন** স্টার্চ, গ্লাইকোজেন ও ডেক্সট্রিন অণুর 1 : 4 গ্লাইকোসাইড বন্ধনীগুলিকে জলবিশ্লিষ্ট করে, কিন্তু ঐসকল অণুর মধ্যে 1 : 6 গ্লাইকোসাইড বন্ধনীগুলিকে ভাঙ্গিতে পারে না। তাহা ছাড়া সেলুলোজ প্রভৃতি তান্তব পলিস্যাকারাইডকে টায়ালিন পরিপাক করিতে পারে না, সেজন্য খাদ্যকে সিদ্ধ করিয়া উদ্ভিদকোষের সেলুলোজ-প্রধান কোষপ্রাচীরকে ছিন্নভিন্ন করিয়া না দিলে উদ্ভিদকোষের ভিতরে সঞ্চিত স্টার্চের উপরে টায়ালিনের ক্রিয়া সম্ভব হয় না। টায়ালিন ক্লোরাইড আয়নের উপস্থিতিতে এবং ঈষৎ অম্লধর্মী হইতে ঈষৎ ক্ষারধর্মী পরিবেশে (সর্বোত্তম পি-এইচ 6.7) সক্রিয় থাকে। ইহা স্টার্চকে প্রথমে দ্রবণীয় (soluble) স্টার্চে পরিণত করে, পরে তাহাকে জলবিশ্লেষের দ্বারা ক্রমশঃ ক্ষুদ্রতর ডেক্সট্রিন অণুতে পরিবর্তিত করিতে থাকে, পরিণামে স্টার্চের অ্যামাইলোজ অংশ হইতে মল্টোজ ও মল্টো-ট্রায়োজ এবং অ্যামাইলোপেক্‌টিন অংশ হইতে মল্টোজ, মল্টোট্রায়োজ ও লিমিট ডেক্সট্রিন নামক একটি শাখাযুক্ত ডেক্সট্রিন উৎপন্ন হয়।

2. পাকস্থলীতে পরিপাক : পাকস্থলী-রসে কার্বোহাইড্রেটের পরিপাকের জন্য কোনও এনজাইম নাই। কিন্তু প্রথমতঃ খাদ্যের সহিত মিশ্রিত টায়ালিন পাকস্থলীতে বহুক্ষণ পর্যন্ত স্টার্চের পরিপাক চালায়, যতক্ষণ না পাকস্থলীর হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড খাদ্যপিণ্ডের (bolus) ভিতরে ঢুকিয়া টায়ালিনকে নিষ্ক্রিয় করে। দ্বিতীয়তঃ, উপরি-উক্ত অ্যাসিডটি খাদ্যের কিছু সুক্রোজ অণুকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া গ্লুকোজ ও ফ্রুক্‌টোজে পরিণত করে। তৃতীয়তঃ, রোমন্থক পশুর চারকক্ষ-বিশিষ্ট পাকস্থলীর প্রথম কক্ষদ্বয়ে (রুমেন ও রেটিকুলাম) ব্যাক-

টেরিয়া ও এককোষী প্রাণীর ক্রিয়ায় সেলুলোজ প্রভৃতি তান্তব পলিস্যাকারাইডের কিণ্বন (fermentation) ঘটিয়া অ্যাসেটিক, প্রোপায়োনিক, বিউটিরিক প্রভৃতি ক্ষুদ্রাণু ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন হয় ; রোমন্থক পশুর পাকস্থলীর তৃতীয় কক্ষে (ওমেসাম) জল ও বাইকার্বনেট শোষিত হয় এবং কেবল চতুর্থ কক্ষে (অ্যাবোমেসাম) পাকস্থলী-রস ক্ষরিত হয়।

3. **ক্ষুদ্রান্ত্রে পরিপাক :**

(a) অগ্ন্যাশয়-রসের ক্রিয়া : অগ্ন্যাশয়-রসের **অ্যামাইলপ্সিন** বা প্যান্ক্রিয়াটিক অ্যামাইলেজ ক্লোরাইড আয়নের উপস্থিতিতে এবং প্রশম (neutral) বা ঈষৎ ক্ষারধর্মী পরিবেশে (সর্বোত্তম পি-এইচ 7.1) স্টার্চ, গ্লাইকোজেন ও ডেক্সট্রিনের অণুতে 1 : 4 গ্লাইকোসাইড বন্ধনীগুলির জলবিশ্লেষ ঘটায়, ফলে মল্টোজ, মল্টোট্রায়োজ ও লিমিট ডেক্সট্রিন উৎপন্ন হয়।

(b) আন্ত্রিক রসের ক্রিয়া : আন্ত্রিক রসের (intestinal juice) **ইন্‌টেস্টিন্যাল অ্যামাইলেজ** স্টার্চ, ডেক্সট্রিন প্রভৃতি পলিস্যাকারাইডকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া মল্টোজ, মল্টোট্রায়োজ ও ক্ষুদ্র ডেক্সট্রিন উৎপন্ন করে। **আইসোমল্টেজ** লিমিট ডেক্সট্রিনের অণুতে 1 : 6 গ্লাইকোসাইড বন্ধনীগুলিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া মল্টোজ ও গ্লুকোজ উৎপন্ন করে। **ল্যাক্টেজ, সুক্রেজ ও মল্টেজ** এনজাইমগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে অথবা ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষঝিল্লীতে যথাক্রমে ল্যাক্টোজ, সুক্রোজ ও মল্টোজের জলবিশ্লেষ ঘটায় ; ফলে ল্যাক্টোজ হইতে গ্লুকোজ ও গ্যালাক্টোজ, সুক্রোজ হইতে গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজ এবং মল্টোজ হইতে গ্লুকোজ উৎপন্ন হয়।

4. **বৃহদন্ত্রে জীবাণুর ক্রিয়া :** উদ্ভিদতন্তুর সেলুলোজ, হেমিসেলুলোজ প্রভৃতি পলিস্যাকারাইডকে পরিপাক করিবার এনজাইম উচ্চশ্রেণীর প্রাণিদেহে ক্ষরিত হয় না। অন্ধান্ত্র (caecum) ও মলাশয়ের (colon) বিবরে ব্যাকটেরিয়া ও এককোষী প্রাণীর ক্রিয়ায় ঐসকল দুষ্পাচ্য পলিস্যাকারাইড ভাঙ্গিয়া অ্যাসেটিক, প্রোপায়োনিক, বিউটিরিক প্রভৃতি ক্ষুদ্রাণু ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। মানুষ বা আমিষাশী প্রাণীদের তুলনায় ঘোড়া, গাধা প্রভৃতি উদ্ভিজ্জভোজীর বৃহদন্ত্রে এরূপ পরিপাকের গুরুত্ব অনেক বেশি।

12.2 ফ্যাট ও লিপিডের পরিপাক

খাদ্যের ফ্যাট বা স্নেহপদার্থের মাত্র $\frac{1}{5}$-$\frac{1}{4}$ অংশ এস্টারেজ বর্গীয় লাইপেজ এনজাইমগুলির ক্রিয়ায় সম্পূর্ণ জলবিশ্লিষ্ট হইয়া গ্লিসেরল ও ফ্যাটি (চর্বি-

জাতীয়) অ্যাসিডে পরিণত হয় ; অবশিষ্ট অধিকাংশ ফ্যাট প্রধানতঃ মোনো-গ্লিসেরাইড পর্যায় পর্যন্ত আংশিক পরিপাকের পরেই অন্ত্র হইতে শোষিত হইয়া যায়। অল্প কিছু ফ্যাট কোনরূপ পরিপাক ব্যতীতই কেবল সূক্ষ্ম অবদ্রবের (emulsion) আকারেই শোষিত হইতে পারে। ফ্যাটের পরিপাকে নিম্নলিখিত বস্তুগুলির গুরুত্বই সর্বাধিক।

1. **পিত্তের ক্রিয়া :** ফ্যাটের পরিপাকে পিত্ত অপরিহার্য। কোনও কারণে পিত্তনালী অবরুদ্ধ হইলে অথবা পিত্তনালীর ফিশ্চুলা তৈয়ারি করিয়া ক্ষুদ্রান্ত্রে পিত্তের প্রবেশ ব্যাহত করিলে খাদ্যের অধিকাংশ ফ্যাট অপরিবর্তিত অবস্থায় মলে বাহির হয়। প্রথমতঃ, **পিত্তলবণগুলির** (bile salts) ক্রিয়ায় অগ্ন্যাশয়-রসের লাইপেজ কো-লাইপেজ নামক প্রোটিনের সহিত যুক্ত হয়, ফলে ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে লাইপেজের বিনাশ নিবারিত হয় ও ক্রিয়া বাড়ে। দ্বিতীয়তঃ, জলদ্রাব্য লাইপেজ এনজাইমগুলি অদ্রাব্য তৈলকণার কেবল বহিঃ-পৃষ্ঠের উপরেই ক্রিয়া করে—পিত্তলবণ তৈলকণার পৃষ্ঠটান (surface tension) কমাইয়া বৃহৎ তৈলকণাকে বহু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণায় পরিণত করিয়া অবদ্রাবিত (emulsified) করে, ফলে তৈলকণাগুলির বহিঃপৃষ্ঠের মোট ক্ষেত্রফল (surface area) বাড়িয়া যাওয়ায় তাহাদের পৃষ্ঠের উপরে লাইপেজগুলির ক্রিয়াও বহুগুণে বৃদ্ধি পায়। ইহা ছাড়া পিত্তলবণগুলি অগ্ন্যাশয়-রসের কোলেস্টেরল এস্টারেজকে সক্রিয় করিয়া কোলেস্টেরল এস্টারের পরিপাকেও সাহায্য করে।

2. **লাইপেজের ক্রিয়া :** পাকস্থলীর লাইপেজ এনজাইমটির উৎস সঠিক জানা নাই, তাহা ছাড়া পাকস্থলীতে তীব্র অম্লধর্মী পরিবেশ ও পিত্তলবণের অভাবের জন্য উক্ত এনজাইমটি বিশেষ কাজ করিতে পারে না। অগ্ন্যাশয়-রস ও আন্ত্রিক রসের লাইপেজ-দুইটি পিত্তলবণের প্রভাবে অবদ্রাবিত তৈলকণা বা চর্বিকণার উপরে ক্রিয়া করিয়া ট্রাইগ্লিসেরাইড অণুর একটি প্রান্তীয় এস্টার বন্ধনীকে জলবিশ্লিষ্ট করে, ফলে এক অণু 1,2-ডাইগ্লিসেরাইড ও এক অণু ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন হয় ; পরে ঐ এনজাইমগুলি 1,2-ডাইগ্লিসেরাইডের অবশিষ্ট প্রান্তীয় এস্টার বন্ধনীটিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া 2-মোনোগ্লিসেরাইড ও ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন করে। 2-মোনোগ্লিসেরাইড ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের আবরক কোষে শোষিত হইয়া কোষমধ্যে প্রধানতঃ আবার ট্রাইগ্লিসেরাইডে পরিবর্তিত হয় ; অবশ্য কিছু 2-মোনোগ্লিসেরাইড অণু ক্ষুদ্রান্ত্রের কোষমধ্যে আইসোমেরেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় 1-মোনোগ্লিসেরাইডে পরিণত হইতে পারে এবং শেষোক্ত বস্তুটি কোষের ভিতরেই লাইপেজের দ্বারা জলবিশ্লিষ্ট হইয়া এক অণু গ্লিসেরল ও এক অণু ফ্যাটি অ্যাসিড দান করিতে পারে।

3. **সাবানজাতীয় পদার্থ :** ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে ফ্যাটি অ্যাসিডের সহিত সোডিয়াম আয়নের মিলনে অল্পস্বল্প সাবান উৎপন্ন হয় এবং তাহার প্রভাবে অবশিষ্ট তৈলকণাগুলি ক্ষুদ্রতর কণায় পরিবর্তিত হইয়া অবদ্রবে (emulsion) পরিণত হয়। ফলে ফ্যাটের পরিপাকে সাহায্য হয়।

4. **ফসফোলাইপেজের ক্রিয়া :** অগ্ন্যাশয়-রসের **ফসফোলাইপেজ-এ** (লেসিথিনেজ-এ) ট্রিপ্‌সিনের ক্রিয়ায় সক্রিয় হইয়া উঠিয়া লেসিথিন প্রভৃতি ফসফোগ্লিসেরাইড-বর্গীয় ফসফোলিপিডের অণুর মধ্যবর্তী এস্টার বন্ধনীটিকে (2-ester linkage) জলবিশ্লিষ্ট করিয়া এক অণু ফ্যাটি অ্যাসিড ও এক অণু লাইসোফসফোলিপিড উৎপাদন করে। আন্ত্রিক রসের **লেসিথিনেজ** এনজাইমটিও ফসফোলিপিডের জলবিশ্লেষ ঘটায়।

5. **কোলেস্টেরল এস্টারেজের ক্রিয়া :** অগ্ন্যাশয়-রসের এই এনজাইমটি পিত্তলবণের ক্রিয়ায় সক্রিয় হইয়া খাদ্যের কোলেস্টেরল এস্টারগুলিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া মুক্ত কোলেস্টেরল ও ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

12.3 প্রোটিনের পরিপাক

লালায় প্রোটিন-পাককারী (proteolytic) এনজাইম নাই। পাকস্থলী ও ক্ষুদ্রান্ত্রে বিভিন্ন পাচকরসের ক্রিয়ায় প্রোটিনের পরিপাক ঘটিয়া বহু অ্যামাইনো অ্যাসিড অণু উৎপন্ন হয়।

1. **পাকস্থলীতে পরিপাক :** পাকস্থলী-রসের নিষ্ক্রিয় পেপ্‌সিনোজেন ও প্রো-রিনিন পাকস্থলীর বিবরে আসিয়া হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের প্রভাবে জলবিশ্লিষ্ট হয়. ফলে যথাক্রমে সক্রিয় পেপ্‌সিন ও সক্রিয় রিনিন উৎপন্ন হয়। পেপ্‌সিন নিজেও অম্লধর্মী পরিবেশে আরও পেপ্‌সিনোজেন অণুকে পেপ্‌সিনে পরিণত করে।

পাকস্থলীতে **হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের** ক্রিয়ায় স্বাভাবিক (native) প্রোটিন অ্যাসিড-মেটাপ্রোটিনে পরিণত হয়। তীব্র অম্লধর্মী পরিবেশে (পি-এইচ 1-3.2) **পেপ্‌সিন** স্বাভাবিক প্রোটিন ও অ্যাসিড-মেটাপ্রোটিনের অণুতে সেই সকল পেপ্‌টাইড বন্ধনীকে জলবিশ্লিষ্ট করে, যেগুলি কোনও অ্যারোম্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গকে মেথিওনিন, লিউসিন বা দ্বিতীয় একটি অ্যারোম্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গের সহিত যুক্ত রাখে : এরূপ বন্ধনীর জলবিশ্লেষের ফলে প্রোটিন প্রোটিওস ও পেপ্‌টোনে পরিণত হয়। পক্ষান্তরে রিনিন সামান্য অম্লধর্মী পরিবেশে দুধের প্রোটিন

কেসিনের অণুতে অ্যারোম্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিড-সংলগ্ন পেপ্‌টাইড বন্ধনীর জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া জলদ্রাব্য প্যারাকেসিন এবং একটি প্রোটিওস-জাতীয় অণু উৎপন্ন করে ; প্যারাকেসিন ক্যালসিয়াম আয়নের সহিত মিলিয়া অদ্রাব্য ক্যালসিয়াম প্যারাকেসিনেট রূপে ছানার আকারে অধঃক্ষিপ্ত হয়। মানুষের পাকস্থলীতে রিনিন নাই. কিন্তু সেখানে পেপ্‌সিনই এভাবে দুধের তঞ্চন (milk coagulation) ঘটাইতে পারে।

পাকস্থলী-রসের জেলাটিনেজ জেলাটিনকে আংশিক পরিপাক করিয়া পেপ্‌টোন ও পলিপেপ্‌টাইড উৎপন্ন করে।

গোমহিষাদি রোমন্থক পশুর যৌগিক পাকস্থলীর প্রথম কক্ষদ্বয়ে (রুমেন ও রেটিকুলাম) ব্যাক্‌টেরিয়ার সাহায্যে ইউরিয়া, অ্যামোনিয়া প্রভৃতি প্রোটিনেতর (nonprotein) নাইট্রোজেন-ঘটিত পদার্থ হইতে প্রোটিন সংশ্লেষিত হয় ; পরে ঐরূপ পাকস্থলীর চতুর্থ কক্ষ অ্যাবোমেসামে ক্ষরিত পাকস্থলী-রসের হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও পেপ্‌সিনের ক্রিয়ায় ঐ জীবাণুঘটিত প্রোটিনগুলি পরিপাক হইয়া প্রোটিওস ও পেপ্‌টোনে পরিণত হয়।

2. ক্ষুদ্রান্ত্রে পরিপাক :

(a) **অগ্ন্যাশয়-রসের ক্রিয়া :** অগ্ন্যাশয়-রসের নিষ্ক্রিয় ট্রিপ্‌সিনোজেন গ্রহণীর (duodenum) বিবরে আন্ত্রিক রসের (intestinal juice) এণ্টেরোকাইনেজ এনজাইমের দ্বারা জলবিশ্লিষ্ট হইয়া সক্রিয় ট্রিপ্‌সিনে পরিণত হয়। ট্রিপ্‌সিন অগ্ন্যাশয়-রসের নিষ্ক্রিয় কাইমোট্রিপ্‌সিনোজেন. প্রো-কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজ, প্রো-ইলাস্টেজ এবং আরও ট্রিপ্‌সিনোজেন অণুকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া যথাক্রমে কাইমোট্রিপ্‌সিন. কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজ, ইলাস্টেজ ও ট্রিপ্‌সিন নামক সক্রিয় এনজাইমগুলি উৎপন্ন করে।

ট্রিপ্‌সিন ক্ষারধর্মী পরিবেশে (পি-এইচ প্রায় 8.0) প্রোটিন, পলিপেপ্‌টাইড, প্রোটিওস, পেপ্‌টোন প্রভৃতির অণুতে আর্জিনিন. লাইসিন প্রভৃতি ক্ষারধর্মী (basic) অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গ-সংলগ্ন পেপ্‌টাইড বন্ধনীগুলির জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র পেপ্‌টাইড অণু উৎপন্ন করে। **কাইমোট্রিপ্‌সিন** ক্ষারধর্মী পরিবেশে দুধের প্রোটিন কেসিনের অণুতে অ্যারোম্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গের সহিত যুক্ত পেপ্‌টাইড বন্ধনীর জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া কেসিনকে প্যারাকেসিনে পরিণত করে, ফলে দুগ্ধতঞ্চনে সাহায্য হয়। অনুরূপ ক্রিয়ার ফলে কাইমোট্রিপ্‌সিন অন্যান্য প্রোটিন ও পলিপেপ্‌টাইডকেও জলবিশ্লিষ্ট করিয়া ক্ষুদ্রতর পেপ্‌টাইড উৎপন্ন করে।

ইলাস্টেজ প্রধানতঃ প্রশম (neutral) অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গের সহিত যুক্ত পেপ্টাইড বন্ধনীর জলবিশ্লেষের মাধ্যমে যোগকলা তন্তুর ইলাস্টিনকে পরিপাক করিয়া পেপ্টাইড উৎপাদন করে। **কার্বক্সিপেপ্টাইডেজ** এ এবং বি পেপ্টাইড অণুর মুক্ত অ্যাল্ফা-কার্বক্সিল বর্গবিশিষ্ট প্রান্তের সর্বশেষ পেপ্টাইড বন্ধনীটিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া ঐ কার্বক্সিল-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটিকে মুক্ত করিয়া দেয়; এনজাইম দুইটির ক্রিয়ার জন্য কার্বক্সিল-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটি যথাক্রমে অ্যারোম্যাটিক ও ক্ষারধর্মী (basic) হওয়া প্রয়োজন। **কোলাজেনেজ** যোগকলা তন্তুর কোলাজেনকে পরিপাক করে।

(b) আন্ত্রিক রসের ক্রিয়া: আন্ত্রিক রসের **অ্যামাইনোপেপ্টাইডেজ** এনজাইমগুলি পেপ্টাইড অণুর মুক্ত অ্যালফা-অ্যামাইনো বর্গবিশিষ্ট প্রান্তের সর্বশেষ পেপ্টাইড বন্ধনীটিকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া ঐ অ্যামাইনো-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটিকে মুক্ত করিয়া দেয়; যথা, অ্যামাইনো-প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটি লিউসিন হইলে তাহার সহিত যুক্ত শেষ পেপ্টাইড বন্ধনীটি ক্ষারধর্মী পরিবেশে **লিউসিন অ্যামাইনোপেপ্টাইডেজের** ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইয়া লিউসিন অণুটি মুক্ত হয়। **প্রোলিডেজ** পেপ্টাইড-প্রান্তের প্রোলিনের সহিত যুক্ত সর্বশেষ পেপ্টাইড বন্ধনীটির জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া প্রোলিন অণুটিকে মুক্ত করে। অ্যামাইনোপেপ্টাইডেজ ও কার্বক্সিপেপ্টাইডেজগুলির ক্রমাগত ক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন ট্রাইপেপ্টাইডগুলি আন্ত্রিক রসের বিভিন্ন **ট্রাইপেপ্টাইডেজের** ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইলে ডাইপেপ্টাইড ও অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। বিভিন্ন **ডাইপেপ্টাইডেজ** ডাইপেপ্টাইডগুলির জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া দুইটি করিয়া অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপন্ন করে। ট্রাইপেপ্টাইড ও ডাইপেপ্টাইডগুলির এরূপ জলবিশ্লেষ প্রধানতঃ ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষগুলির মধ্যে তাহাদের প্রবেশের সময়ে বা তাহার অব্যবহিত পরে ঘটিয়া থাকে।

12.4 নিউক্লিওপ্রোটিনের পরিপাক

পেপ্সিন, ট্রিপ্সিন প্রভৃতি প্রোটিন-পাককারী এনজাইমের ক্রিয়ায় খাদ্যের নিউক্লিওপ্রোটিন অণু ভাঙ্গিয়া প্রোটিন ও নিউক্লিইক অ্যাসিড স্বতন্ত্র হইয়া যায়। অগ্ন্যাশয়-রসের **রাইবোনিউক্লিয়েজ** ও **ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিয়েজের** ক্রিয়ায় যথাক্রমে আর.এন.এ. (RNA) ও ডি.এন.এ. (DNA) অণুর ফসফোডাইএস্টার বন্ধনীগুলি জলবিশ্লিষ্ট হইলে ক্ষুদ্র অলিগোনিউক্লিওটাইড ও ক্ষুদ্রতর নিউক্লিওটাইড (মোনোনিউক্লিওটাইড) অণুগুলির উদ্ভব ঘটে।

আন্ত্রিক রসের **পলিনিউক্লিওটাইডেজ** এনজাইমগুলি অলিগোনিউক্লিওটাইডকে জলবিশ্লিষ্ট করিয়া একাধিক নিউক্লিওটাইড অণু উৎপন্ন করে। আন্ত্রিক রসের **নিউক্লিওটাইড ফসফাটেজ** (নিউক্লিওটাইডেজ) এনজাইমগুলি নিউক্লিওটাইড অণুর ফসফেট-সংশ্লিষ্ট এস্টার বন্ধনীর জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া নিউক্লিওসাইড ও অজৈব ফসফেটকে পরস্পর বিচ্ছিন্ন করিয়া দেয়। নিউক্লিওসাইডগুলি ক্ষুদ্রান্ত্র-গাত্রের কোষমধ্যে শোষিত হওয়ার সময়ে বা পরে বিভিন্ন **নিউক্লিওসাইড ফস-ফোরিলেজের** ক্রিয়ায় নিউক্লিওসাইড ও অজৈব ফসফেটের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটে, ফলে নিউক্লিওসাইড হইতে পেন্টোজ ফসফেট এবং পিউরিন বা পিরিমিডিন উৎপন্ন হয়; অজৈব ফসফেটের সাহায্যে সংঘটিত এই **ফসফোবিশ্লেষ** (phosphorolysis) বিক্রিয়াটি পরিপাকের অধিকাংশ জলবিশ্লেষ বিক্রিয়ার ব্যতিক্রম।

রোমন্থক পশুর যৌগিক পাকস্থলীর রুমেন ও রেটিকুলাম কক্ষে জীবাণুর দ্বারা সংশ্লেষিত নিউক্লিওপ্রোটিনগুলি পৌষ্টিক নালীর অন্যান্য কক্ষে পরিপাক হইয়া পশুর দেহে শোষিত হইতে পারে।

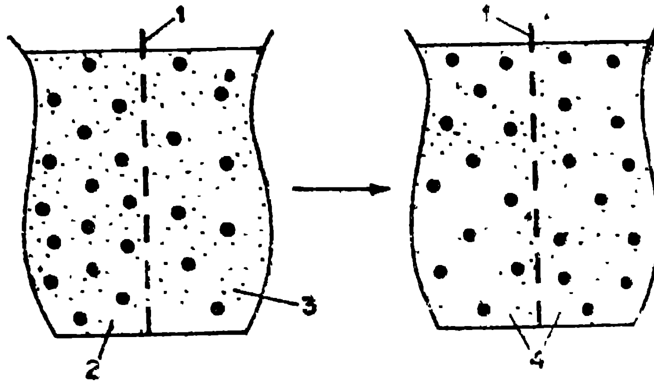
12.5 শোষণের পদ্ধতি

পৌষ্টিক নালী হইতে খাদ্য ভৌত অথবা সক্রিয় পদ্ধতিতে শোষিত হয়।

1. **ভৌত পদ্ধতি (physical processes) :** প্রধানতঃ শোষণীয় খাদ্য-বস্তুর অণু বা আয়নগুলির অন্তর্নিহিত, অনিয়ন্ত্রিত, স্বাভাবিক ও অবিরাম গতির (তাপীয় গতি, thermal movement) উপরেই ব্যাপন (diffusion), অভিস্রবণ (osmosis) এবং সুকৃত ব্যাপন (facilitated diffusion) পদ্ধতিতে শোষণ নির্ভর করে। এসকল পদ্ধতিতে শোষণের সময়ে ক্ষুদ্রান্ত্রের আবরক কোষগুলির কোনও সক্রিয় ভূমিকা অথবা তাহাদের শক্তিব্যয়ের প্রয়োজনীয়তা থাকে না।

(a) ব্যাপন : খাদ্যের জলদ্রাব্য অণুগুলি তাহাদের নিজস্ব অন্তর্নিহিত ও স্বাভাবিক গতির জন্য জলীয় দ্রবণের মধ্যে অবিরাম নানাদিকে ঘুরিয়া বেড়ায়। দ্রবণের দুই অংশে দ্রবীভূত খাদ্যবস্তুর গাঢ়তার (concentration) পার্থক্য থাকিলে ঐরূপ গতির জন্য অপেক্ষাকৃত অধিকসংখ্যক অণু গাঢ়তর অংশ হইতে লঘুতর অংশে ছড়াইয়া পড়িয়া দ্রবণের দুই অংশের গাঢ়তাকে অভিন্ন করিয়া দেয় (চিত্র 12.1)। এভাবে দ্রবণের সর্বত্র গাঢ়তা অভিন্ন হইয়া গেলে সমসংখ্যক অণু সকল দিকে যাইতে থাকায় গাঢ়তার আর কোনও

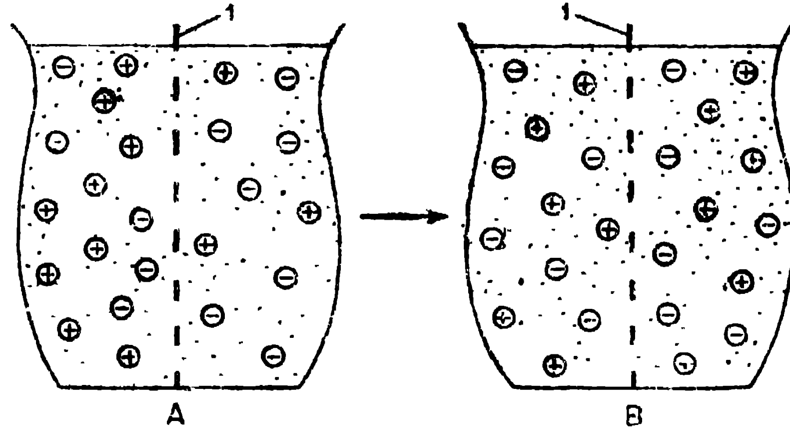
পরিবর্তন হয় না। যদি কোনও বস্তুর লঘু ও গাঢ় দ্রবণকে এমন একটি ঝিল্লী দিয়া পরস্পর হইতে পৃথক করিয়া রাখা হয় যাহার ছিদ্রগুলির ব্যাস দ্রবীভূত অণুর ব্যাস অপেক্ষা বৃহত্তর, তবে ঐরূপ সুভেদ্য বা পারগম্য ঝিল্লীর (permeable membrane) ছিদ্র দিয়া অণুগুলি পূর্বোক্ত ব্যাপন পদ্ধতিতেই গাঢ়তর দ্রবণ হইতে লঘুতর দ্রবণে প্রবেশ করিতে থাকে এবং পরিণামে উভয় দ্রবণে উহাদের গাঢ়তা প্রায় অভিন্ন হইয়া যায়। এরূপ ভৌত পদ্ধতি বা ব্যাপন (diffusion) কয়েকটি বিষয়ের উপরে নির্ভর করে; (*i*) জল বা অন্য কোনও তরলের মধ্য দিয়া ব্যাপনের জন্য অণু বা আয়নকে উক্ত তরল পদার্থে দ্রবীভূত হইতে হয়: জলদ্রাব্য অণুগুলি জলীয় দ্রবণের মধ্যে এবং চর্বিদ্রাব্য অণুগুলি তৈলজাতীয় বস্তুর মধ্যে ব্যাপনের মাধ্যমে ঘোরাফেরা করিতে পারে, কিন্তু জলে অদ্রাব্য অণুর ব্যাপন জলীয় মাধ্যমে ঘটিতে পারে না। (*ii*) দ্রবণের মধ্যে ব্যাপনের ফলে দ্রবীভূত আয়ন বা অণুগুলি সর্বদাই গাঢ়তর দ্রবণ হইতে লঘুতর দ্রবণে ছড়াইয়া পড়ে অর্থাৎ উহাদের নিজস্ব গাঢ়তার ক্রমাবনতির (concentration gradient) দিকে সঞ্চালিত হয়; দ্রবণের দুই অংশে বা পারগম্য ঝিল্লীর দুইপাশে গাঢ়তার পার্থক্য যত বেশি, ব্যাপনের গতি বা হারও তত বেশি। (*iii*) ঝিল্লীর ছিদ্র ভেদ করিয়া ব্যাপনের জন্য উক্ত ঝিল্লীর ছিদ্রগুলির ব্যাস ব্যাপনরত কণাগুলির ব্যাস অপেক্ষা যথেষ্ট বৃহত্তর হওয়া প্রয়োজন। (*iv*) দ্রবণের দুই অংশে অথবা পারগম্য (permeable) ঝিল্লীর দুইদিকে আধান (charge) বা তড়িৎবিভবের (electrical potential) পার্থক্যের (electrical gradient) উপরেও আহিত (charged) আয়নগুলির ব্যাপন নির্ভর করে—পারগম্য ঝিল্লীর একপার্শ্বে ধনধর্মী (positive) আধান অপরপার্শ্বের তুলনায় অধিক হইলে ধনধর্মী আয়নগুলি প্রথম পার্শ্ব হইতে দ্বিতীয় পার্শ্বে এবং ঋণধর্মী (negative) আয়নগুলি বিপরীতমুখে ব্যাপনের দ্বারা সঞ্চালিত হয় (চিত্র 12.2)। (*v*) দ্রবীভূত অণু বা আয়নের



চিত্র 12.1. গাঢ় দ্রবণ হইতে লঘু দ্রবণে দ্রবীভূত কণার ব্যাপন। 1-পারগম্য ঝিল্লী; 2-গাঢ় দ্রবণ, 3-লঘু দ্রবণ; 4-অভিন্ন গাঢ়তার দ্রবণ।

ব্যাস, ভর (mass) বা ঘনত্ব (density) যত অধিক হয়, তাহার নিজস্ব স্বাভাবিক গতি তত কম হওয়ায় তাহার ব্যাপনের গতিও সেই অনুযায়ী শ্লথ হয়।

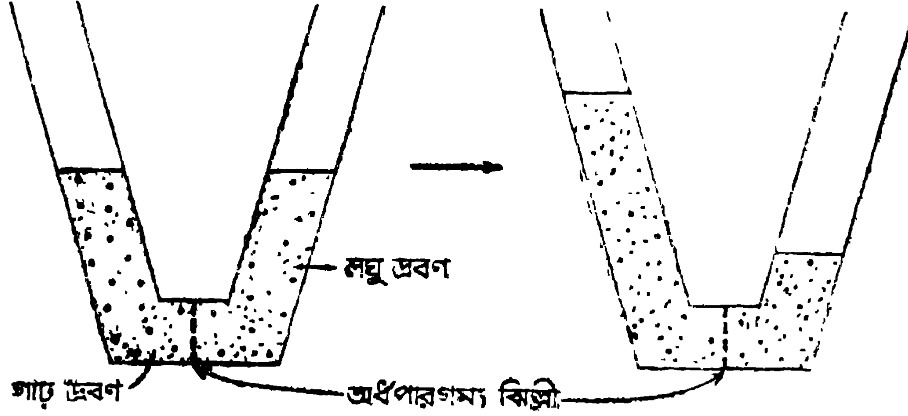
খাদ্যের পরিপাকজাত ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলদ্রাব্য অণুগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের আবরক কোষের মাইক্রোভিলাস-ঝিল্লীর জলপূর্ণ ছিদ্রপথ দিয়া ব্যাপনের মাধ্যমে উক্ত কোষের মধ্যে প্রবেশ করিতে পারে। কিন্তু যতক্ষণ ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে শোষণীয় বস্তুর গাঢ়তা রক্তে ও ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে উহার গাঢ়তা অপেক্ষা অধিক থাকে, কেবল ততক্ষণই এভাবে ব্যাপনের মাধ্যমে উক্ত বস্তুর শোষণ ঘটিতে পারে; সেজন্য কেবল ব্যাপনের দ্বারা ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে কোনও বস্তুর সবটুকু শোষিত হইতে পারে না।



চিত্র 12.2. বৈদ্যুতিক আধানের প্রভেদের জন্য আহিত আয়নের ব্যাপন।
1-পারগম্য ঝিল্লী।

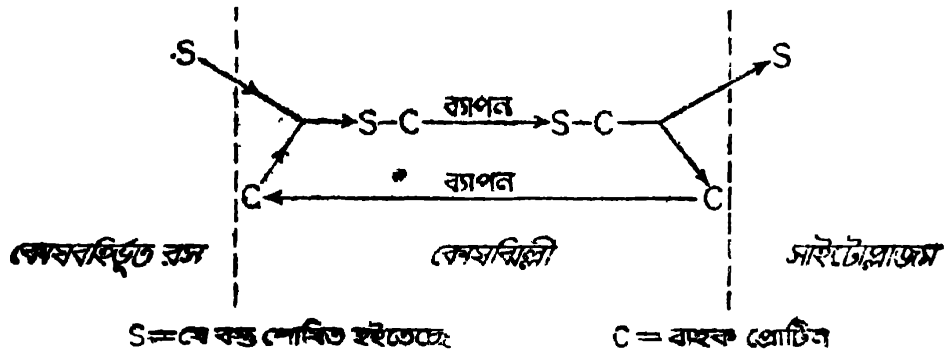
(b) অভিস্রবণ : যে ঝিল্লীর ছিদ্রগুলি দিয়া জলের অণুর ব্যাপন ঘটিতে পারে, কিন্তু দ্রবীভূত বস্তুর অণুগুলির ব্যাপন ঘটিতে পারে না, সেরূপ **অর্ধভেদ্য বা অর্ধপারগম্য** (semipermeable) ঝিল্লী দিয়া দুইটি ভিন্ন গাঢ়তার দ্রবণকে পৃথক করিয়া রাখিলে অপেক্ষাকৃত অধিক সংখ্যক জলের অণু লঘু দ্রবণ হইতে গাঢ় দ্রবণে এবং অপেক্ষাকৃত স্বল্পসংখ্যক জলের অণু বিপরীত দিকে যায়, কারণ জলীয় দ্রবণে যত অধিক পরিমাণে দ্রবীভূত অণু বা আয়ন থাকে, জলের অণুগুলির নিজস্ব অবিরাম গতি এবং তজ্জনিত জলের ব্যাপন তত ব্যাহত হয়। এরূপ অভিস্রবণের (osmosis) ফলে গাঢ় দ্রবণটিতে জল প্রবেশ করিয়া উহা ক্রমশঃ লঘুতর হইতে থাকে এবং লঘু দ্রবণটি জল হারাইয়া ক্রমশঃ গাঢ়তর হয়। যতক্ষণ না গাঢ়তর দ্রবণে জলের চাপ বৃদ্ধি পাইয়া তন্মধ্যে জলের ব্যাপন বন্ধ হয়, ততক্ষণ এভাবে লঘুতর দ্রবণ হইতে গাঢ়তর দ্রবণে জলের অভিস্রবণ চলিতে থাকে (চিত্র 12.3)। ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে

জলের শোষণ অভিস্রবণের মাধ্যমেই ঘটিয়া থাকে। ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে খাদ্যের শোষণের সময়ে ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে খাদ্যবস্তুর গাঢ়তা হ্রাস পায় এবং ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে উহার গাঢ়তা সেই অনুপাতে বাড়ে, ফলে মাইক্রোভিলাস-ঝিল্লীর মধ্য দিয়া অভিস্রবণের দ্বারা জল শোষিত হয়।



চিত্র 12.3. লঘু দ্রবণ হইতে গাঢ় দ্রবণে জলের অভিস্রবণ।

(c) **সুকৃত ব্যাপন :** অনেক ক্ষেত্রে ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে ও উহার গাত্রের কোষে খাদ্যবস্তুর গাঢ়তার পার্থক্যের উপরে নির্ভর করিয়া ব্যাপনের সময়ে উক্ত কোষের মাইক্রোভিলাস-ঝিল্লীর বহিঃপৃষ্ঠে খাদ্যের অণুর সহিত ঝিল্লীর কোনও বাহক (carrier) প্রোটিন অণুর মিলনে একটি যৌগ উৎপন্ন হয় এবং উক্ত যৌগটি ঝিল্লীর লাইপোপ্রোটিন স্তরের মধ্য দিয়া ব্যাপনের মাধ্যমে ঝিল্লীটির সাইটোপ্লাজম-মুখী পৃষ্ঠে পৌঁছিয়া আবার বিশ্লিষ্ট হইয়া



চিত্র 12.4. সুকৃত ব্যাপন (facilitated diffusion)।

পড়ে; ফলে খাদ্যের অণুটি মুক্ত হইয়া ঝিল্লীর ঐ পৃষ্ঠ হইতে কোষের সাইটোপ্লাজমে প্রবেশ করে, কিন্তু বাহক প্রোটিন অণুটি ঝিল্লীতেই থাকিয়া যায় (চিত্র 12.4)। সাধারণ ব্যাপন অপেক্ষা অনেক দ্রুততর হইলেও ঐরূপ সুকৃত (facilitated) ব্যাপনও কোনরূপ শক্তিব্যয় ছাড়াই এবং গাঢ়তার ক্রমাবনতির

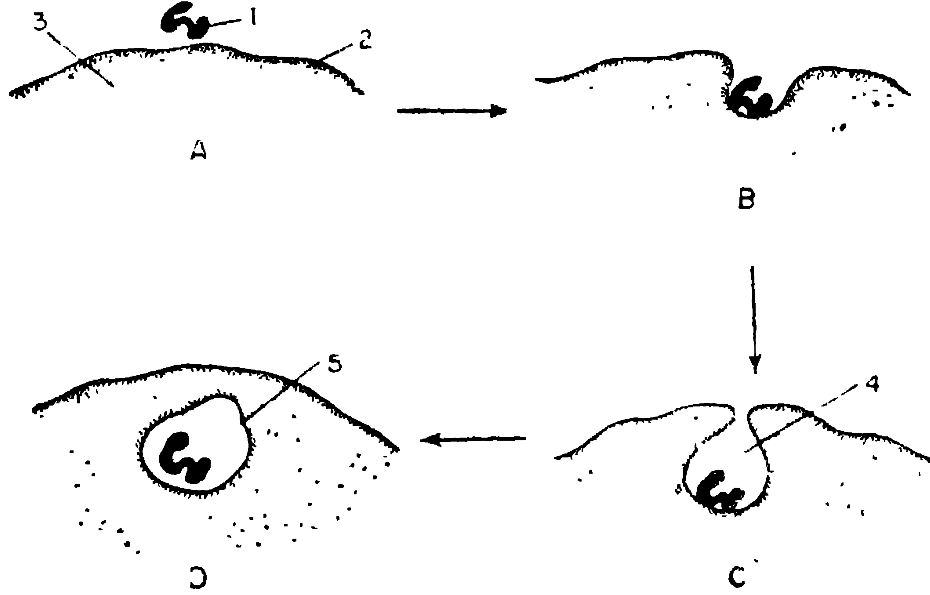
দিকেই (concentration gradient) ঘটিয়া থাকে। ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে খাদ্যের গাঢ়তা ক্ষুদ্রান্ত্রকোষে বা রক্তে তাহার গাঢ়তার কাছে নামিয়া আসিলে সুকৃত ব্যাপনও বন্ধ হয়, ফলে ইহার সাহায্যেও কোনও খাদ্যবস্তুর সবটুকু ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইতে পারে না। ফ্রুক্টোজ ও কতকগুলি জলদ্রাব্য বি-ভিটামিন এই পদ্ধতিতে শোষিত হয়।

2. **সক্রিয় পদ্ধতি** (active process) : এই পদ্ধতিতে ক্ষুদ্রান্ত্রের বুরুশপ্রান্ত (brush-bordered) কোষগুলি সক্রিয়ভাবে এবং শক্তিব্যয় করিয়া খাদ্যের অণুগুলিকে ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে শোষণ করিয়া লয়। সক্রিয় শোষণ ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে ও রক্তে খাদ্যবস্তুটির গাঢ়তার পার্থক্যের উপরে নির্ভর করে না এবং ভৌত পদ্ধতির তুলনায় অনেক দ্রুততর গতিতে ঘটিয়া থাকে।

চিত্র 12.5. সক্রিয় শোষণ।

ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে খাদ্যবস্তুর গাঢ়তা রক্তে তাহার গাঢ়তা অপেক্ষা অনেক কমিয়া গেলেও তাহার সক্রিয় শোষণ অব্যাহত থাকে, ফলে এভাবে খাদ্যবস্তুর প্রায় সবটুকুই ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইয়া যাইতে পারে। কোষমধ্যে জারণের (oxidation) মাধ্যমে উৎপন্ন এটিপি (ATP) অণুর জলবিশ্লেষ ঘটাইয়া যে শক্তি পাওয়া যায়, তাহাই সক্রিয় শোষণের জন্য ব্যবহৃত হয়। অত্যধিক শৈত্য, নানা প্রকার বিপাকনিবারক পদার্থ (metabolic inhibitors), অক্সিজেনের অভাব প্রভৃতির জন্য কোষগুলির সজীবতা ব্যাহত হইলে সক্রিয় শোষণ বন্ধ হইয়া যায়। ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে গ্লুকোজ, গ্যালাক্টোজ, অ্যামাইনো অ্যাসিড, ডাইপেপ্টাইড প্রভৃতির সক্রিয় শোষণের সময়ে তাহারা বিশেষ বিশেষ বাহক প্রোটিন অণুর সহিত মিলিত হইয়া যৌগের আকারে মাইক্রোভিলাস-ঝিল্লী অতিক্রম করে (চিত্র 12.5)।

অনেক সময়ে খাদ্যবস্তুর অপেক্ষাকৃত বৃহৎ কণা বা অণুগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রকোষের বিবরমুখী (luminal) ঝিল্লীর পৃষ্ঠে সংলগ্ন হইয়া যায় এবং ঝিল্লীর এই অংশটি ক্রমশঃ কোষের সাইটোপ্লাজমের ভিতরে ঢুকিয়া আসিয়া ও মূল কোষ-ঝিল্লী হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া একটি ঝিল্লীবেষ্টিত কোষগহ্বরের (vacuole) সৃষ্টি করে (চিত্র 12.6)। সাইটোপ্লাজমে ভাসমান কোষগহ্বরটির ভিতরে



চিত্র 12.6. পিনোসাইটোসিস। 1-খাদ্য; 2-কোষঝিল্লী, 3-কোষ, 4-কোষঝিল্লীর বেষ্টনীমধ্যে খাদ্য, 5-খাদ্যপূর্ণ কোষগহ্বর।

খাদ্যকণাগুলি ক্রমশঃ পরিপাক হইয়া শোষিত হয়। এরূপ পদ্ধতির সক্রিয় শোষণকে **পিনোসাইটোসিস** (pinocytosis) বলে। অল্পস্বল্প ফ্যাট (স্নেহ-পদার্থ) সূক্ষ্ম অবদ্রবের (emulsion) আকারে পিনোসাইটোসিস পদ্ধতিতে ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইতে পারে। সদ্যোজাত শিশুর ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে মাতৃ-দুগ্ধের অপরিবর্তিত গ্লোবিউলিন-বর্গীয় প্রোটিনগুলিও এভাবেই শোষিত হয়।

12 6 কার্বোহাইড্রেটের শোষণ

যথেষ্ট পরিমাণে সুক্রোজ, ল্যাকটোজ, মল্টোজ প্রভৃতি ডাইস্যাকারাইড ঐ আকারেই ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হয়; শোষণের সময়েই ক্ষুদ্রান্ত্রকোষের মাইক্রোভিলাস-ঝিল্লীতে অথবা শোষণের অব্যবহিত পরে কোষমধ্যে সুক্রেজ, ল্যাক্টেজ ও মল্টেজ এনজাইমের সাহায্যে জলবিশ্লিষ্ট হইয়া ইহারা গ্লুকোজ, ফ্রুক্টোজ ও গ্যালাক্টোজে পরিণত হয়। শেষোক্ত শর্করাগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের ঝিল্লী হইতে পোর্টাল শিরার রক্তে প্রবেশ করে, কিন্তু ডাইস্যাকারাইডগুলিকে

সরাসরি রক্তে ইন্‌জেক্‌শন দিলে তাহারা মূত্রে বাহির হইয়া যায়, দেহে ব্যবহৃত হইতে পারে না। ক্ষুদ্রান্ত্রের কোষগুলিতে সুক্রেজ, ল্যাক্‌টেজ বা মল্টেজের জন্মগত অভাব থাকিলে খাদ্যের প্রাসঙ্গিক ডাইস্যাকারাইড অপরিবর্তিত আকারেই রক্তে আসে ও মূত্রে আবির্ভূত হয়। মল্টোজ প্রধানতঃ মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র (jejunum) ও শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের (ileum) প্রথমাংশে, সুক্রোজ মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের শেষভাগ ও শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে এবং ল্যাক্‌টোজ গ্রহণী (duodenum) ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইয়া ঐ সকল অংশের গাত্রে জলবিশ্লিষ্ট (hydrolysed) হয়।

পলিস্যাকারাইড ও বৃহত্তর অলিগোস্যাকারাইডগুলি পরিপাকের শেষে প্রধানতঃ হেক্সোজ এবং অল্প পরিমাণে পেণ্টোজ শর্করার আকারে ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইয়া পোর্টাল শিরার রক্তে প্রবেশ করে। গ্লুকোজ প্রধানতঃ গ্রহণী ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে দ্রুত শোষিত হয়; শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রে ইহার শোষণ অপেক্ষাকৃত কম এবং মলাশয়ে ইহার শোষণ যৎসামান্য। সম্পূর্ণ ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে ঘণ্টায় প্রায় 125 গ্রাম পর্যন্ত গ্লুকোজ শোষিত হইতে পারে। পেণ্টোজ শর্করাগুলি ব্যাপনের (diffusion) মাধ্যমেই শোষিত হইয়া থাকে, কিন্তু হেক্সোজগুলির মধ্যে গ্লুকোজ ও গ্যাল্যাক্‌টোজ প্রধানতঃ সক্রিয় পদ্ধতিতে এবং ফ্রুক্‌টোজ ও ম্যানোজ মুখ্যতঃ সুকৃত (facilitated) ব্যাপনের দ্বারা শোষিত হয় (12.5 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। ইহার সমর্থনে কয়েকটি তথ্যের উল্লেখ করা যায়:

(*i*) পেণ্টোজ শর্করার ব্যাপন গ্লুকোজ বা গ্যাল্যাক্‌টোজের তুলনায় অধিক হওয়া সত্ত্বেও শেষোক্ত শর্করাগুলি পেণ্টোজের তুলনায় অনেক দ্রুততর শোষিত হয়। গ্লুকোজ ফ্রুক্‌টোজ অপেক্ষা অনেক দ্রুততর শোষিত হয় এবং ইহাও উক্ত দুই শর্করার ব্যাপনের পার্থক্য দিয়া ব্যাখ্যা করা যায় না। আবার ফ্রুক্‌টোজের শোষণ পেণ্টোজের তুলনায় এত দ্রুত যে বিশুদ্ধ ব্যাপনের মাধ্যমে তাহার শোষণ ঘটে বলিয়া মনে হয় না; পক্ষান্তরে ফ্রুক্‌টোজের শোষণ ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে ও রক্তে তাহার গাঢ়তার পার্থক্যের উপরেই নির্ভর করে অর্থাৎ কোনও পরিবর্তিত আকারের ব্যাপনের দ্বারাই সম্পন্ন হয়।

(*ii*) ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে পেণ্টোজের গাঢ়তা বাড়িলে বা কমিলে সেই অনুপাতে তাহার শোষণের বৃদ্ধি বা হ্রাস ঘটে, কিন্তু ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে গ্লুকোজ বা গ্যাল্যাক্‌টোজ শর্করার গাঢ়তার হ্রাসবৃদ্ধি তাহাদের নিজ নিজ শোষণের হারকে প্রভাবিত করে না—অন্ত্রে 25%, 50% ও 75% গ্লুকোজ দ্রবণ হইতে একই হারে গ্লুকোজ শোষিত হয়।

(*iii*) ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে গ্লুকোজের গাঢ়তা ক্ষুদ্রান্ত্রসংলগ্ন মেসেন্‌টারির রক্তবাহগুলির রক্তে উহার গাঢ়তা অপেক্ষা কমিয়া গেলেও গ্লুকোজের শোষণ অব্যাহত থাকে। এজন্যই খাদ্যের প্রায় সবটুকু গ্লুকোজই ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইয়া যায়।

(*iv*) অক্সিজেনের অভাব, শৈত্য অথবা ফ্লোরহাইজিন, আয়োডো-অ্যাসিটেট প্রভৃতি বিপাকনিবারক (metabolic inhibitor) প্রয়োগের দ্বারা ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষগুলির ক্রিয়ায় ব্যাঘাত ঘটাইলে গ্লুকোজের শোষণ খুব হ্রাস পায় এবং কেবল ব্যাপনের মাধ্যমে অল্পস্বল্প শোষণ চলিতে থাকে।

(*v*) গ্লুকোজ শোষণের সময়ে ক্ষুদ্রান্ত্রের বহিঃপৃষ্ঠ ও বিবরমুখী (luminal) পৃষ্ঠের মধ্যে তড়িৎবিভবের (electrical potential) পার্থক্য বৃদ্ধি পায় ; ফ্লোরহাইজিন প্রয়োগে ইহা বন্ধ হয় এবং গ্লুকোজের শোষণও কমে।

(*vi*) সকল হেক্সোজ এক হারে শোষিত হয় না এবং তাহাদের শোষণ-হারের সহিত তাহাদের ব্যাপ্যতার (diffusibility) সম্পর্ক নাই। গ্যালাক্‌টোজ সর্বাপেক্ষা দ্রুত এবং গ্লুকোজ তদপেক্ষা কিছু কম গতিতে শোষিত হয়। ফ্রুক্‌টোজ ও ম্যানোজের শোষণহার যথাক্রমে ইহার প্রায় অর্ধেক ও এক-পঞ্চমাংশ। রাইবোজ, অ্যারাবিনোজ প্রভৃতি পেন্টোজের শোষণহার আরও কম।

(*vii*) শোষণের ব্যাপারে গ্লুকোজ ও গ্যালাক্‌টোজ পরস্পরের প্রতি-যোগী—ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে যে-কোনওটির পরিমাণ বাড়াইলে অপরটির শোষণ ব্যাহত হয়।

(*viii*) খাদ্যে সোডিয়াম আয়নের অভাব থাকিলে বা অন্ত্র হইতে সোডিয়ামের শোষণ ব্যাহত হইলে গ্লুকোজের শোষণও কমিয়া যায়।

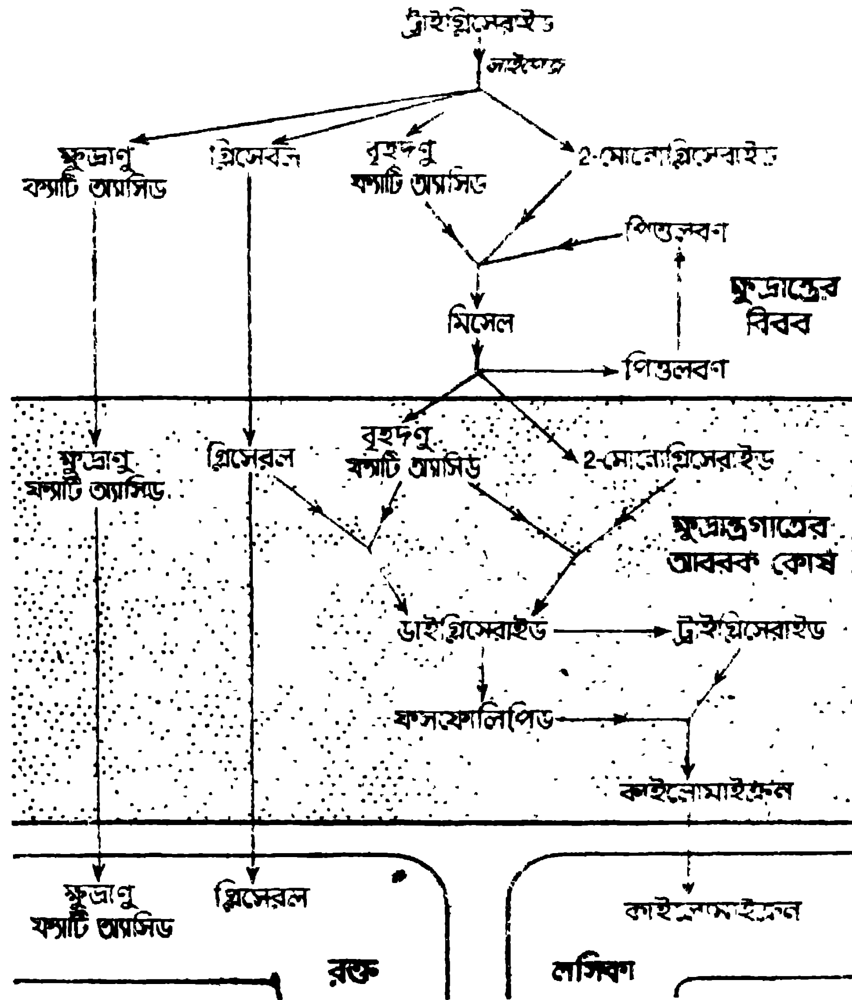
ক্ষুদ্রান্ত্রের বুরুশপ্রান্ত কোষের পাদদেশীয় (basal) ও পার্শ্বীয় (lateral) কোষঝিল্লীতে (cell membrane) অবস্থিত সোডিয়াম পাম্প নামক বহন-পদ্ধতির সাহায্যে এবং এটিপি-র (ATP) ভাঙ্গনজনিত শক্তি দিয়া অবিরত সোডিয়াম আয়নকে ঐ কোষ হইতে সক্রিয়ভাবে পাশাপাশি অন্তরকোষ (inter-cellular) কলায় বাহির করিয়া দেওয়া হয়, ফলে ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরের তুলনায় ক্ষুদ্রান্ত্রকোষে সোডিয়ামের গাঢ়তা কম থাকে এবং কোষের মুক্তপ্রান্তের মাইক্রো-ভিলাস-ঝিল্লী অতিক্রম করিয়া ব্যাপনের মাধ্যমে সোডিয়াম বিবর হইতে কোষে ঢুকিতে থাকে। এই ব্যাপনের সময়ে সোডিয়াম আয়ন মাইক্রোভিলাস-ঝিল্লীর

বহিঃপৃষ্ঠে একটি বাহক প্রোটিন অণুর সহিত মিলিত হয় এবং ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে গ্লুকোজও উক্ত সোডিয়াম-প্রোটিন যৌগের সহিত যুক্ত হইয়া গ্লুকোজ-বাহক-সোডিয়াম যৌগ উৎপন্ন করে। উক্ত যৌগটি ঝিল্লীর লাইপোপ্রোটিন স্তরের মধ্য দিয়া ব্যাপনের মাধ্যমে ঝিল্লীর সাইটোপ্লাজম-মুখী পৃষ্ঠে অর্থাৎ ভিতরপৃষ্ঠে পৌঁছিয়া বিশ্লিষ্ট হইয়া পড়ে, ফলে মুক্ত গ্লুকোজ ও সোডিয়াম আয়ন সাইটোপ্লাজমে নিঃসৃত হয় এবং বাহক অণুটি ঝিল্লীতেই থাকিয়া যায়। এভাবে শোষণের ফলে কোষমধ্যে গ্লুকোজের গাঢ়তা রক্তের তুলনায় বর্ধিত হয়, ফলে গ্লুকোজ ব্যাপনের মাধ্যমে কোষের পাদদেশীয় ও পার্শ্বীয় ঝিল্লী দিয়া বাহির হইয়া রক্তে প্রবেশ করে। সম্ভবতঃ গ্যালাক্টোজও ঐ একই বাহক অণু বা বহনপদ্ধতির সাহায্যে ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে সক্রিয়ভাবে শোষিত হয়। যে-সকল ডি-শর্করার (D-sugars) অণু কমপক্ষে ছয়টি কার্বনে গঠিত হয় ও পাঁচটি কার্বন ও একটি অক্সিজেন পরমাণুতে গঠিত পিরান (pyran) বলয়ের আকারে সজ্জিত থাকে এবং যাহাদের অণুতে দ্বিতীয় কার্বনের (C^2) সহিত যুক্ত হাইড্রক্সিল বর্গটি মুক্ত অবস্থায় ও ডি-গ্লুকোজের উক্ত বর্গটির অনুরূপ দিকে বিন্যস্ত থাকে, কেবল তাহারাই উপরি-উক্ত বাহক অণুর সহিত যুক্ত হইয়া সক্রিয়ভাবে শোষিত হইতে পারে—পেন্টোজে ছয়টির কম কার্বন পরমাণু থাকায় এবং ফ্রুক্টোজে পিরানের পরিবর্তে ফুরান বলয় থাকায় উহারা সক্রিয়ভাবে শোষিত হয় না। এল্‌-শর্করাগুলিরও (L-sugars) সক্রিয় শোষণ ঘটে না।

12.7 ফ্যাট ও লিপিডের শোষণ

খাদ্যের ট্রাইগ্লিসেরাইড ফ্যাট বা স্নেহপদার্থের মাত্র এক-তৃতীয়াংশ ক্ষুদ্রান্ত্রে পিত্তলবণের উপস্থিতিতে লাইপেজের দ্বারা সম্পূর্ণ জলবিশ্লিষ্ট হইয়া গ্লিসেরল ও মুক্ত ফ্যাটি (চর্বিজাতীয়) অ্যাসিডে পরিণত হয়। অবশিষ্ট ট্রাইগ্লিসেরাইড মাত্র আংশিক পরিপাক হইয়া ফ্যাটি অ্যাসিড ও 2-মোনোগ্লিসেরাইড উৎপাদন করে। ইহাদের মধ্যে গ্লিসেরল ও ক্ষুদ্রাণু (lower) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি জলদ্রাব্য এবং তাহারা সহজেই ক্ষুদ্রান্ত্রের মধ্যভাগ হইতে সক্রিয়ভাবে শোষিত হইয়া সোজাসুজি পোর্টাল শিরার রক্তে প্রবেশ করে। পক্ষান্তরে ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে বাই-কার্বনেট-জনিত ক্ষারধর্মী পরিবেশে পিত্তলবণের ক্রিয়ায় দীর্ঘাণু (higher) ফ্যাটি অ্যাসিড, মোনোগ্লিসেরাইড, ডাইগ্লিসেরাইড, কোলেস্টেরল, লেসিথিন, চর্বিদ্রাব্য ভিটামিন প্রভৃতির বহু অদ্রাব্য অণু একত্রিত হইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণিকা বা মিসেল (micelle) উৎপন্ন করে। প্রত্যেকটি গোলাকার মিসেল প্রায় 50-500 অণুর

সমাহার ; মিসেলের বহিঃপৃষ্ঠে পিত্তলবণ, সাবান ও ফসফোলিপিড অণুর আয়নিত (ionized) ও জলাকর্ষী (hydrophilic) বর্গগুলি সজ্জিত থাকে এবং মিসেলের জলহীন ও তৈলাক্ত কেন্দ্রীয় অংশে উহাদের জলবিকর্ষী (hydrophobic) বর্গগুলির ফাঁকে ফাঁকে ফ্যাটি অ্যাসিড, মোনোগ্লিসেরাইড, ডাইগ্লিসেরাইড, কোলেস্টেরল, ভিটামিন ডি, ই এবং কে, ক্যারোটিন প্রভৃতির জলবিকর্ষী অণুগুলি ভীড় করিয়া থাকে। সূক্ষ্মভাবে অবদ্রাবিত (finely emulsified)



চিত্র 12.7. ফ্যাটের শোষণপদ্ধতি।

ফ্যাটের কণা অপেক্ষাও মিসেলের ব্যাস ক্ষুদ্রতর—মাত্র 3-10 ন্যানোমিটার। বহিঃপৃষ্ঠে জলাকর্ষী ও আয়নিত বর্গগুলির স্তর থাকায় মিসেলগুলি সহজেই জলে মিশিয়া অত্যন্ত সূক্ষ্ম অবদ্রবের আকারে থাকে এবং গ্রহণী (duodenum) ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র (jejunum) হইতে সক্রিয়ভাবে শোষিত হয়। শোষণের সময়ে পিত্তলবণগুলি মিসেল হইতে মুক্ত হইয়া আবার ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে ফিরিয়া যায় এবং মিসেলের অন্তর্ভুক্ত অন্যান্য অণুগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের কোষমধ্যে প্রবেশ করে।

ক্ষুদ্রান্ত্রের কোষমধ্যে কিছু 2-মোনোগ্লিসেরাইড অণু আইসোমেরেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় 1-মোনোগ্লিসেরাইডে পরিণত হয় এবং শেষোক্ত বস্তু কোষমধ্যেই লাইপেজের দ্বারা জলবিশ্লিষ্ট হইয়া গ্লিসেরল ও ফ্যাটি অ্যাসিড দান করে। অবশিষ্ট মোনোগ্লিসেরাইড, দীর্ঘাণু ফ্যাটি অ্যাসিড এবং গ্লিসেরল লইয়া ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষে ট্রাইগ্লিসেরাইড এবং ফসফোলিপিড সংশ্লেষণ করা হয় (চিত্র 12.7)। ট্রাইগ্লিসেরাইডের জলবিকর্ষী অণুগুলি একত্রিত হইয়া বহু চর্বিকণা উৎপন্ন করে ; ঐ কণার বহিঃপৃষ্ঠে ফসফোলিপিড ও প্রোটিনের একটি জলাকর্ষী স্তর সংলগ্ন হইয়া প্রায় 500 ন্যানোমিটার বা ততোধিক ব্যাসবিশিষ্ট **কাইলোমাইক্রন** (chylomicron) নামক লাইপোপ্রোটিন কণা গঠিত হয়। কাইলোমাইক্রন কণাগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের কোষ হইতে লসিকায় প্রবেশ করে ; ফ্যাট শোষণের সময়ে এরূপ বহু কাইলোমাইক্রন কণা অবদ্রবের আকারে লসিকায় বাহিত হওয়ায় লসিকাকে দুগ্ধধবল দেখায় ; এরূপ লসিকাকে **কাইলে** (chyle) বলে। কিছু ফসফোলিপিড অণু কাইলোমাইক্রন কণায় যুক্ত না হইয়া সোজাসুজি পোর্টাল শিরার রক্তে প্রবেশ করিতে পারে।

পিত্তলবণ, সাবান, ফ্যাটের পরিপাকজাত মোনোগ্লিসেরাইড ও ডাইগ্লিসেরাইড প্রভৃতি বস্তুর যৌথ ক্রিয়ায় অল্প কিছু ট্রাইগ্লিসেরাইড ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে অত্যন্ত সূক্ষ্মভাবে অবদ্রবিত হইয়া পিনোসাইটোসিস পদ্ধতিতে সরাসরি ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে শোষিত হইয়া যায়।

মুক্ত কোলেস্টেরল ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে পিত্তলবণের ক্রিয়ায় মিসেল কণাগুলির অন্তর্ভুক্ত হইয়া মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র ও শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হয় ; অধিকাংশ কোলেস্টেরল ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষে দীর্ঘাণু ফ্যাটি (চর্বিজাতীয়) অ্যাসিডের সহিত মিলিয়া কোলেস্টেরল এস্টারের আকারে কাইলোমাইক্রন কণায় যুক্ত হইয়া লসিকায় যায়। সাধারণ পিত্তনালীতে অবরোধের ফলে বা পিত্তনালীর ফিশ্চুলার জন্য গ্রহণীতে পিত্তের প্রবেশ বন্ধ হইলে যকৃতের রোগে পিত্তক্ষরণ ব্যাহত হইলে কিংবা অগ্ন্যাশয়ের রোগে লাইপেজের ক্ষরণ হ্রাস পাইলে ফ্যাট, কোলেস্টেরল, ভিটামিন ডি ও কে প্রভৃতি সকল চর্বিদ্রাব্য বস্তুর শোষণ ব্যাহত হয় এবং মলে প্রভূত ফ্যাট দেখা দেয় (**স্টিয়াটোরিয়া**, steatorrhoea)।

12.8 প্রোটিনের শোষণ

প্রোটিনের পরিপাকজাত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি প্রধানতঃ ক্ষুদ্রান্ত্রের শেষার্ধ অর্থাৎ মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র (jejunum) ও শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র (ileum) হইতে শোষিত হইয়া পোর্টাল শিরার রক্তে প্রবেশ করে। স্বাভাবিক অর্থাৎ এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিড-

গুলি (L-amino acids) প্রধানতঃ সক্রিয় পদ্ধতিতে এবং ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি (D-amino acids) ব্যাপনের (diffusion) দ্বারা শোষিত হয় ; অবশ্য অল্পস্বল্প এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিডও ব্যাপনের দ্বারা শোষিত হইয়া থাকে। এবিষয়ে কয়েকটি প্রাসঙ্গিক তথ্য নিম্নরূপ :

(*i*) ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে কোনও ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিডের গাঢ়তা (concentration) কমিয়া গেলে তাহার শোষণ হ্রাস পায়, কিন্তু ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে কোনও এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিডের গাঢ়তা রক্তে তাহার গাঢ়তা অপেক্ষা কমিয়া গেলেও তাহার শোষণ অব্যাহত থাকে।

(*ii*) এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি অনুরূপ ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিডের তুলনায় অনেক দ্রুত শোষিত হয়; যথা, এল্-অ্যালানিন ডি-অ্যালানিন অপেক্ষা তিনগুণ দ্রুত শোষিত হয়, যদিও উভয়ের ব্যাপ্যতায় (diffusibility) প্রভেদ নাই। শৈত্য, অক্সিজেনের অভাব বা পাইরিডক্সিনের অভাবে কেবল এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিডের শোষণ খুব হ্রাস পায় : তখন উভয় প্রকার অ্যামাইনো অ্যাসিডই ধীরে ধীরে ও প্রায় একই হারে শোষিত হয়।

(*iii*) ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির শোষণহার তাহাদের ব্যাপ্যতার উপরে নির্ভর করে, কিন্তু এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির ক্ষেত্রে সেরূপ দেখা যায় না ; বস্তুতঃ অনুরূপ ব্যাপ্যতাসম্পন্ন দুইটি এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিডের শোষণ-হারে প্রভূত পার্থক্য থাকিতে পারে।

(*iv*) ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে এল্-আর্জিনিন বা এল্-অর্নিথিনের পরিমাণ বাড়াইলে এল্-লাইসিনের শোষণ কমিয়া যায়, আবার এল্-মেথিওনিনের মাত্রাধিক্যে এল্-অ্যালানিন ও এল্-ফিনাইলঅ্যালানিনের শোষণ হ্রাস পায়।

(*v*) প্রোটিন শোষণের সময়ে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের বুরুশপ্রান্ত (brush-bordered) কোষে কোনও এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিডের গাঢ়তা ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে তাহার গাঢ়তা অপেক্ষা অধিক হইতে পারে। ডাইনাইট্রোফেনল প্রয়োগে কোষের জৈব ক্রিয়া নষ্ট করিলে এরূপ ঘটিতে পারে না।

ক্ষুদ্রান্ত্রের বুরুশপ্রান্ত কোষের পাদদেশীয় (basal) ও পার্শ্বীয় (lateral) কোষঝিল্লীতে অবস্থিত সোডিয়াম পাম্প নামক বহনপদ্ধতির সাহায্যে এবং এটিপি-র (ATP) ভাঙ্গনজনিত শক্তি দিয়া অবিরত সোডিয়াম আয়নকে কোষ হইতে অন্তরকোষ (intercellular) কলায় সক্রিয়ভাবে বাহির করিয়া দেওয়া হয়, ফলে কোষমধ্যে সোডিয়ামের গাঢ়তা কমিয়া যাওয়ায় কোষের মুক্ত পৃষ্ঠের মাইক্রোভিলাস-ঝিল্লী অতিক্রম করিয়া সোডিয়াম আয়ন ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে

ব্যাপনের দ্বারা কোষে ঢুকিতে থাকে। এই ব্যাপনের সময়ে সোডিয়াম আয়ন কোষঝিল্লীর বহিঃপৃষ্ঠে একটি বাহক প্রোটিন অণুর সহিত যুক্ত হয় এবং ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিডও উক্ত যৌগের সহিত মিলিত হইয়া সোডিয়াম-বাহক-অ্যামাইনো অ্যাসিড যৌগ উৎপন্ন করে। এই যৌগটি কোষঝিল্লীর লাইপোপ্রোটিন স্তর দিয়া ব্যাপনের মাধ্যমে কোষঝিল্লীর ভিতরপৃষ্ঠে পৌঁছিয়া বিশ্লিষ্ট হইয়া পড়ে, ফলে মুক্ত সোডিয়াম আয়ন ও এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিড সাইটোপ্লাজমে প্রবেশ করে এবং বাহক অণুটি কোষ-ঝিল্লীতেই থাকিয়া যায়। এরূপ সক্রিয় শোষণের জন্য বুরুশপ্রান্ত কোষের মাই-ক্রোভিলাস-ঝিল্লীতে কয়েক প্রকার বাহক অণু থাকার সম্ভাবনা ; সম্ভবতঃ ভিন্ন ভিন্ন বাহক অণু ক্ষারধর্মী (basic), অম্লধর্মী (acidic), প্রশম (neutral) প্রভৃতি ভিন্ন ভিন্ন জাতের অ্যামাইনো অ্যাসিডের শোষণে সাহায্য করে—একই বাহকের দ্বারা শোষিত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যে একটির পরিমাণ বাড়াইলে অন্যগুলির শোষণ হ্রাস পাইতে পারে।

পাইরিডক্সাল ফসফেট অ্যামাইনো অ্যাসিডের সক্রিয় শোষণে কোএনজাইম রূপে কাজ করে। তাহা ছাড়া অনেকগুলি এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিডের সক্রিয় শোষণের সময় গ্লুটাথিওন নামক একটি ট্রাইপেপ্টাইড কোষঝিল্লীতে অ্যামা-ইনো অ্যাসিডের পরিবহনে অংশগ্রহণ করে বলিয়া মেইস্টার ও অন্য কয়েকজন বিজ্ঞানী মনে করেন।

প্রোটিনের পরিপাকজাত এল্-ডাইপেপ্টাইড ও এল্-ট্রাইপেপ্টাইডগুলি কিছু পরিমাণে সেই আকারেই গ্রহণী (duodenum) ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে বিশেষ বিশেষ বাহক প্রোটিনের সাহায্যে সক্রিয়ভাবে শোষিত হয়। ক্ষুদ্রান্ত্র-গাত্রের কোষে ডাইপেপ্টাইডেজ ও ট্রাইপেপ্টাইডেজের ক্রিয়ায় তাহারা অতি দ্রুত জলবিশ্লিষ্ট হইয়া অ্যামাইনো অ্যাসিডে পরিণত হয়।

সদ্যোজাত শিশুর ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে মাতৃদুগ্ধের গ্লোবিউলিন-বর্গীয় প্রোটিনগুলি কোনরূপ পরিপাক ব্যতীতই সক্রিয় পিনোসাইটোসিস্ দ্বারা শোষিত হইয়া থাকে। ফলে নবজাতক বিভিন্ন রোগের বিরুদ্ধে অনাক্রম্যতা (immunity) লাভ করে। কখনও কখনও বয়স্ক ব্যক্তির ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে ডিম, চিংড়ি প্রভৃতির অপরিবর্তিত প্রোটিন পিনোসাইটোসিস্ পদ্ধতিতে শোষিত হইয়া অ্যালার্জি ঘটাইতে পারে।

12.9 ভিটামিনের শোষণ

ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে পিত্তলবণের (bile salts) সাহায্যে মোনোগ্লিসেরাইড, দীর্ঘাণু ফ্যাটি অ্যাসিড, ফসফোলিপিড, কোলেস্টেরল প্রভৃতি লইয়া যে মিসেল

(micelle) কণাগুলি সৃষ্ট হয় (12.7 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য), চর্বিদ্রাব্য (fat-soluble) ক্যারোটিন ও ভিটামিন ডি, ই এবং কে সেই মিসেলের অন্তর্ভুক্ত হইয়া প্রধানতঃ গ্রহণী (duodenum) ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র (jejunum) হইতে শোষিত হয়। পিত্ত-নালীতে পাথুরি বা টিউমার-জনিত অবরোধ, পিত্তনালীর ফিশ্চুলা, যকৃতের ব্যাধির ফলে পিত্তক্ষরণে ব্যাঘাত, অথবা অগ্ন্যাশয়-রসে লাইপেজের অভাব প্রভৃতি কারণে ফ্যাটের পরিপাক ও মিসেল উৎপাদন ব্যাহত হইলে চর্বিদ্রাব্য ভিটামিনগুলির শোষণও হ্রাস পায় এবং পরিণামে অন্যান্য রোগলক্ষণের সহিত ভিটামিন ডি অথবা কে-র অভাবজনিত লক্ষণও দেখা দিতে পারে।

পিত্তলবণের সাহায্যে শোষিত ক্যারোটিন অধিকাংশ গোমহিষাদি পশুর ক্ষুদ্রান্ত্রের কোষমধ্যেই ভিটামিন এ-তে রূপান্তরিত হয়। কিন্তু খাদ্যের ভিটামিন এ পিত্তলবণের সাহায্য ব্যতীতই গ্রহণী ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হয় ; অবশ্য শোষণের পূর্বে খাদ্যের ভিটামিন এ এস্টারগুলিকে অগ্ন্যাশয়-রসের কোলেস্টেরল এস্টারেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট করিয়া মুক্ত ভিটামিন এ উৎপাদন করিতে হয়। স্প্রু ও অন্যান্য যে-সকল রোগে ক্ষুদ্রান্ত্র ক্ষতিগ্রস্ত হয়, সে-সকল রোগে অন্যান্য চর্বিদ্রাব্য ভিটামিনের সহিত ভিটামিন এ-র শোষণও ব্যাহত হয়।

জলদ্রাব্য ভিটামিনগুলির মধ্যে কোবাল্যামিন বা ভিটামিন বি$_{12}$ পাকস্থলী-রসের অ্যাসিড ও ক্যাসল-বর্ণিত আভ্যন্তরীণ উপাদানের (Castle's intrinsic factor) সাহায্যে সক্রিয়ভাবে শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র (ileum) হইতে শোষিত হয়। শেষোক্ত উপাদানটি বি$_{12}$ অণুর সহিত মিলিয়া যে যৌগ উৎপাদন করে, ক্যালসিয়াম আয়নের উপস্থিতিতে তাহা হইতে বি$_{12}$ সহজেই শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের মাইক্রোভিলাস-ঝিল্লীতে একটি বাহক প্রোটিনের অণুতে স্থানান্তরিত হইতে পারে এবং ঐ বাহক-বি$_{12}$ যৌগের আকারেই কোষঝিল্লী অতিক্রম করিয়া শোষিত হয়। ক্যাস্‌ল্‌-বর্ণিত আভ্যন্তরীণ উপাদানের ক্ষরণ ব্যাহত হইলে বি$_{12}$ শোষিত হইতে পারে না, ফলে উহার অভাবজনিত মারাত্মক পার্নিশিয়াস অ্যানিমিয়া রোগ হয়।

অন্যান্য জলদ্রাব্য বি-ভিটামিন এবং ভিটামিন সি গ্রহণী ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে ব্যাপনের মাধ্যমে এবং অনেক ক্ষেত্রে বিশেষ বিশেষ সীমিত শক্তিসম্পন্ন বহনপদ্ধতির মাধ্যমেও শোষিত হইয়া থাকে। স্প্রু রোগে ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে ক্ষত হইয়া ফোলিক অ্যাসিডের শোষণ ব্যাহত হয়, ফলে শেষোক্ত ভিটামিনটির অভাবজনিত ম্যাক্রোসাইটিক অ্যানিমিয়া দেখা দেয়।

আন্ত্রিক জীবাণুর দ্বারা সংশ্লেষিত ভিটামিনগুলির মধ্যে কেবল ভিটামিন কে এবং ফোলিক অ্যাসিড মানুষের মলাশয় (colon) হইতে উল্লেখ্য পরিমাণে শোষিত হয়।

ত্রয়োদশ পরিচ্ছেদ

পৌষ্টিক নালীর সঞ্চালন

13.1 পৌষ্টিক নালীর নার্ভসংযোগ

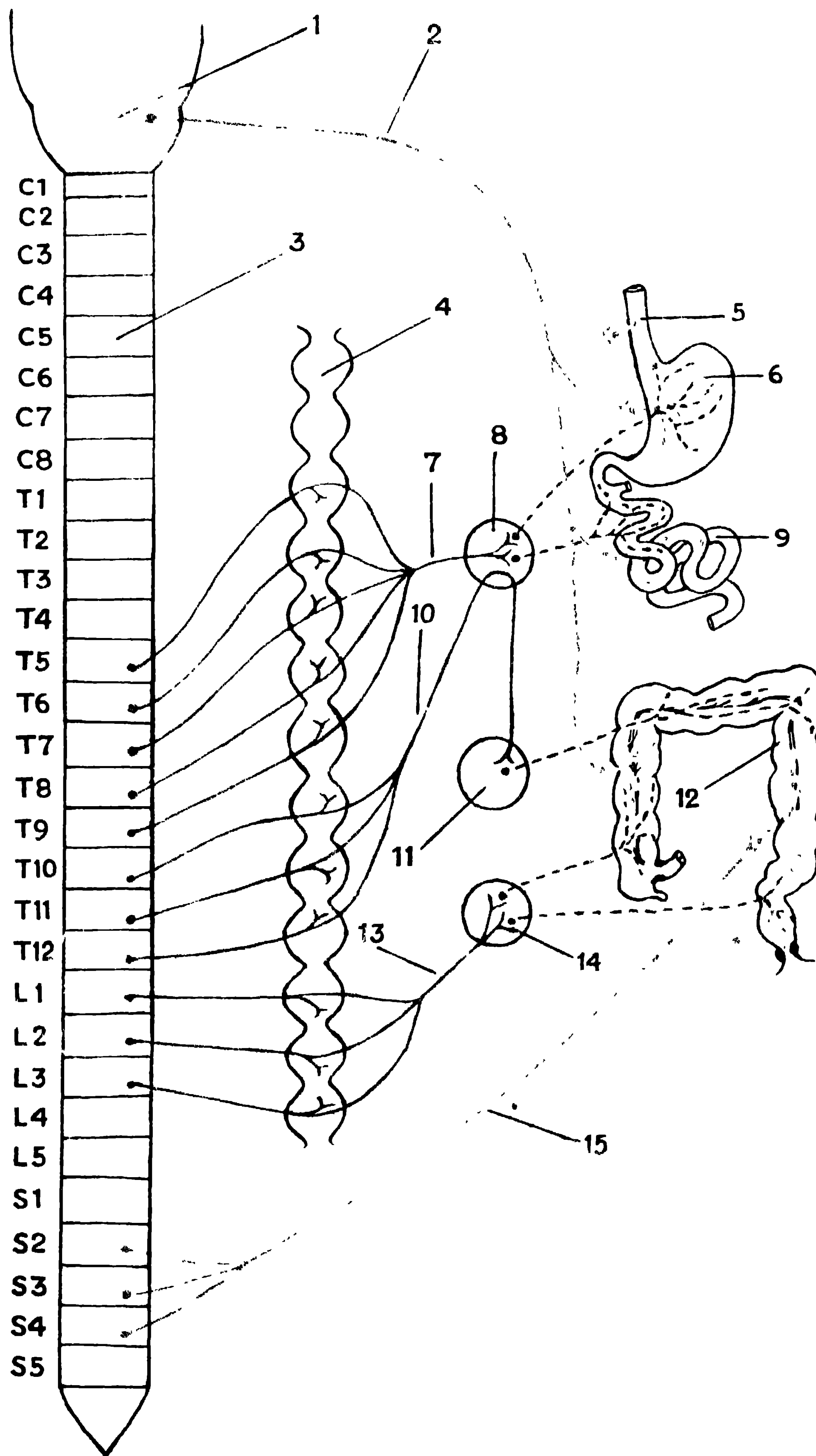
পৌষ্টিক নালীর গাত্রের গ্রন্থি ও পেশীগুলির ক্রিয়া বহু পরিমাণেই স্থানীয় প্রতিবর্তের (local reflex) দ্বারা প্রভাবিত ও পরিবর্তিত হয়। এই স্থানীয় প্রতিবর্তগুলি নালীগাত্রের মায়েণ্টেরিক ও অধঃশ্লৈষ্মিক নার্ভজালের দ্বারা ঘটিয়া থাকে। খাদ্যের উপস্থিতিতে বা অন্য কোনও কারণে পৌষ্টিক নালীর গাত্রের টানগ্রাহক (stretch receptors), স্পর্শগ্রাহক (touch receptors) প্রভৃতি উদ্দীপিত হইতে পারে। নালীগাত্রের অধঃশ্লৈষ্মিক (submucous) স্তরের মেইস্‌নার-বর্ণিত নার্ভজালের দ্বিবাহু নার্ভকোষগুলি একদিকে উপরি-উক্ত গ্রাহকগুলির সহিত ও অন্যদিকে পেশীস্তরের মাঝখানে অবস্থিত আউয়েরব্যাক-বর্ণিত মায়েণ্টেরিক নার্ভজালের সহিত যুক্ত। অধঃশ্লৈষ্মিক নার্ভজালের নার্ভতন্তুগুলি সংজ্ঞাবহ (sensory) বা অন্তর্মুখ নার্ভতন্তুরূপে ঐসকল গ্রাহক হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহকে মায়েণ্টেরিক নার্ভজালে পৌঁছাইয়া দেয় এবং শেষোক্ত নার্ভজালের নার্ভতন্তুগুলি চেষ্টীয় (motor) বা বহির্মুখ নার্ভতন্তুরূপে পৌষ্টিক নালীগাত্রের গ্রন্থি ও পেশীগুলিতে বিভবপ্রবাহ লইয়া গিয়া তাহাদের ক্রিয়াকে প্রভাবিত ও পরিবর্তিত করে।

বাহির হইতে আগত (extrinsic) নার্ভতন্তুগুলি প্রধানতঃ সমবেদী (sympathetic) ও পরাসমবেদী (parasympathetic) নার্ভতন্ত্রের অধীন। নার্ভ-গ্রন্থিপূর্ব (preganglionic) সমবেদী নার্ভতন্তুগুলি মুখ্যতঃ সুষুম্নাকাণ্ডের পঞ্চম বক্ষখণ্ডক (thoracic segment) হইতে তৃতীয় কটিখণ্ডকের (lumbar segment) মধ্যে উৎপন্ন হইয়া বিভিন্ন স্প্ল্যাংক্‌নিক নার্ভ বাহিয়া আসিয়া সিলিয়াক, হাইপোগ্যাস্ট্রিক, সুপিরিয়র ও ইন্‌ফিরিয়র মেসেণ্টারিক প্রভৃতি নার্ভগ্রন্থিতে (nerve ganglion) সমাপ্ত হয় (চিত্র 13.1) ; এসকল নার্ভগ্রন্থিতে উৎপন্ন নার্ভগ্রন্থি-উত্তর (postganglionic) সমবেদী নার্ভতন্তুগুলি রক্তবাহের গাত্র বাহিয়া পাকস্থলী, ক্ষুদ্রান্ত্র, মলাশয় (colon), মলনালী (rectum) প্রভৃতির রক্তবাহ, গ্রন্থি ও পেশীতে পৌঁছায়। জিহ্বা, গলবিল ও কোমল তালুর পেশী-গুলিতে নবম ও দ্বাদশ করোটিক (cranial) নার্ভ বাহিয়া চেষ্টীয় নার্ভতন্তু আসিয়াছে ; কিন্তু গ্রাসনালী (œsophagus), পাকস্থলী, ক্ষুদ্রান্ত্র, পিত্তাশয় ও

মলাশয়ের প্রথমাংশে দশম করোটিক (ভেগাস) নার্ভ দিয়া সুষুম্নাশীর্ষক (medulla oblongata) হইতে নার্ভগ্রন্থিপূর্ব পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি গিয়াছে —অবশ্য গ্রাসনালীর প্রথমাংশে সরেখ (striated) পেশীতন্তুগুলিতে পরাসমবেদী নার্ভতন্তুর পরিবর্তে ভেগাসের মাধ্যমেই ইচ্ছাধীন চেষ্টীয় নার্ভতন্তু সরবরাহ হইয়াছে। আবার সুষুম্নাকাণ্ডের দ্বিতীয় হইতে চতুর্থ ত্রিকাস্থিখণ্ডকে (sacral segments) উৎপন্ন নার্ভগ্রন্থিপূর্ব পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি পেল্‌ভিক নার্ভ ও নার্ভাস এরিজেন্‌স্ বাহিয়া মলাশয়ের শেষাংশ ও মলনালীর গাত্রে পৌঁছিয়াছে। পৌষ্টিক নালীর মধ্যভাগে অর্থাৎ মধ্য- ও শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র, অন্ধান্ত্র (caecum) ও মলাশয়ের প্রথমাংশে পরাসমবেদী নার্ভের সরবরাহ গ্রাসনালী, পাকস্থলী, মলাশয়ের শেষাংশ ও মলনালীর অনুরূপ নার্ভতন্তুর তুলনায় কম। নার্ভগ্রন্থিপূর্ব পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি পৌষ্টিক নালীর গাত্রে মায়েন্টেরিক নার্ভজালের কাছে সমাপ্ত হইয়াছে : উক্ত নার্ভজালের নার্ভতন্তুগুলিই নার্ভগ্রন্থি-উত্তর পরাসমবেদী নার্ভতন্তুরূপে রক্তবাহ, পেশী ও গ্রন্থিগুলিতে সরবরাহ হয়।

পৌষ্টিক নালীর অরেখ (nonstriated) পেশীতন্তুগুলি পরস্পর অত্যন্ত ঘনিষ্ঠভাবে যুক্ত থাকায় বিভবপ্রবাহ (impulse) বা উদ্দীপনা সহজেই এক পেশীতন্তু হইতে অন্যগুলিতে প্রবাহিত হয় এবং তাহারা একত্রে সংকুচিত হইতে পারে ; এজন্য ইহাদের অভিন্ন-একক (single-unit) অরেখ পেশীতন্তু বলে এবং হৃৎপেশীর (cardiac muscle) মত ইহাদেরও স্বতঃস্ফূর্তভাবে স্পন্দিত হওয়ার অর্থাৎ আপন সঞ্চালনের জন্য স্বকীয় বিভবপ্রবাহ উৎপাদনের ক্ষমতা আছে। পৌষ্টিক নালীগাত্রের অরেখ পেশীর এই স্বতঃক্রিয় স্পন্দনের (automatic rhythmicity) উপরে ঐ নালীর নানাপ্রকার সঞ্চালন নির্ভর করে। তবে স্থানীয় প্রতিবর্তের ও বাহির হইতে আগত নার্ভগুলির প্রভাবে এই সঞ্চালন পরিবর্তিত, বর্ধিত বা শিথিল হইতে পারে।

চিত্র 13.1. পৌষ্টিক নালীর নার্ভসংযোগ (সম্মুখের পৃষ্ঠায়)। 1-সুষুম্নাশীর্ষক ; 2-ভেগাস ; 3-সুষুম্নাকাণ্ড ; 4-সমবেদী নার্ভগ্রন্থির মালা ; 5-গ্রাসনালী , 6-পাকস্থলী , 7-গ্রেটার স্প্ল্যাংকনিক নার্ভ , 8-সিলিয়াক নার্ভগ্রন্থি ; 9-ক্ষুদ্রান্ত্র ; 10-স্মল বা লেসার স্প্ল্যাংকনিক নার্ভ ; 11-সুপিরিয়র মেসেণ্টারিক নার্ভগ্রন্থি ; 12-বৃহদন্ত্র ; 13-লিস্ট স্প্ল্যাংকনিক নার্ভ . 14-ইনফিরিয়র মেসেণ্টারিক নার্ভগ্রন্থি ; 15-পেল্‌ভিক নার্ভ। সমবেদী ও পরাসমবেদী নার্ভতন্তু যথাক্রমে নীল ও রক্তবর্ণে এবং নার্ভগ্রন্থিপূর্ব ও নার্ভগ্রন্থি-উত্তর নার্ভতন্তুগুলি যথাক্রমে অখণ্ড ও খণ্ডিত রেখায় অঙ্কিত।



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
T1
T2
T3
T4
T5
T6
T7
T8
T9
T10
T11
T12
L1
L2
L3
L4
L5
S1
S2
S3
S4
S5

13.2 গ্রাসনালীর সঞ্চালন

খাদ্যশূন্য অবস্থায় গ্রাসনালীর মধ্যভাগের গাত্র শিথিল থাকে, কিন্তু গ্রাসনালীর গলবিল-সন্নিহিত প্রান্ত এবং পাকস্থলীর হৃৎ-মুখী (cardiac) পেশী-বলয়টি (sphincter) সংকুচিত থাকিয়া যথাক্রমে গলবিল (pharynx) হইতে গ্রাসনালী এবং গ্রাসনালী হইতে পাকস্থলীর প্রবেশপথকে রুদ্ধ রাখে। খাদ্য গিলিবার সময়ে গলবিলে উৎপন্ন ক্রমসংকোচ (peristalsis) তরঙ্গ গ্রাসনালীর ঊর্ধ্বপ্রান্তে পৌঁছিলে গ্রাসনালীর ঐ অংশের গাত্র সাময়িকভাবে শিথিল হইয়া ক্রমসংকোচ-বাহিত খাদ্যকে গলবিল হইতে গ্রাসনালীতে ঢুকিতে দেয়—গ্রাসনালীর ঊর্ধ্বপ্রান্তে সরেখ (striated) পেশীগুলির এই শৈথিল্য গলাধঃকরণ প্রতিবর্তের (deglutition reflex) ফলে ঘটে এবং দশম-দ্বাদশ করোটিক নার্ভের ইচ্ছাধীন চেষ্টীয় তন্তুগুলির ক্রিয়াতেই সম্পন্ন হয়। ইহার পরেই গ্রাসনালীর ঊর্ধ্বপ্রান্ত আবার সংকুচিত হইয়া পড়ে, কিন্তু গলবিল হইতে আগত ক্রমসংকোচ তরঙ্গটি গ্রাসনালী বাহিয়া এবং তাহার বিবরপথকে প্রায় বন্ধ করিয়া দিয়া পাকস্থলীর দিকে নামিতে থাকে ; ইহাকে গ্রাসনালীর **প্রাথমিক** (primary) **ক্রমসংকোচ** বলে। গ্রাসনালীর প্রথমাংশে ইহার গতি সেকেণ্ডে প্রায় 40 সেণ্টিমিটার, কিন্তু ক্রমে ইহার বেগ ধীরতর হইয়া গ্রাসনালীর শেষপ্রান্তে সেকেণ্ডে মাত্র 5 সেণ্টিমিটার হইয়া যায়। ইহা খাদ্যপিণ্ডটিকে সামনে ঠেলিয়া লইয়া প্রায় 10 সেকেণ্ডের মধ্যে পাকস্থলীর হৃৎ-মুখী প্রান্তে পৌঁছাইয়া দেয় ; কিন্তু গলাধঃকরণের ফলে খাদ্য গ্রাসনালীতে প্রবেশ না করিয়া থাকিলেও এই ক্রমসংকোচের গতি ও প্রবাহ বিশেষ ব্যাহত হয় না। গ্রাসনালীর কোনও অংশ বাহিয়া প্রাথমিক ক্রমসংকোচ যাইবার সময়ে উহার ভিতরে প্রথমে সামান্য ক্ষণের জন্য চাপ (pressure) একটু কমে, তাহার পরেই প্রথমে দ্রুত, পরে অপেক্ষাকৃত ধীরে এবং সর্বশেষে অতি দ্রুত চাপ বাড়িয়া প্রায় 60 সেণ্টিমিটার বা ততোধিক জলের চাপের মত দাঁড়ায়, ইহার পরে অবিলম্বে চাপ দ্রুত কমিয়া স্বাভাবিক হয়। গ্রাসনালীর গাত্রে প্রাথমিক ক্রমসংকোচ তরঙ্গটি প্রায় 5-6 সেণ্টিমিটার দীর্ঘ অংশ জুড়িয়া থাকে। প্রাথমিক ক্রমসংকোচ প্রধানতঃ ভেগাস নার্ভের নিয়ন্ত্রণাধীন। গ্রাসনালীতে প্রবিষ্ট খাদ্যের প্রভাবে উহার গাত্রের টান- ও স্পর্শ-গ্রাহকগুলি উদ্দীপিত হইলে ভেগাস নার্ভের অন্তর্মুখ (afferent) নার্ভতন্তু বাহিয়া বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) সুষুম্নাশীর্ষকে (medulla oblongata) যায় ; এভাবে আরব্ধ প্রতিবর্তের ফলে বিভবপ্রবাহ দশম-দ্বাদশ করোটিক নার্ভের ইচ্ছাধীন চেষ্টীয় তন্তুগুলি দিয়া গ্রাসনালীর প্রথমাংশের সরেখ পেশীতন্তুগুলিতে এবং দশম করোটিকের (ভেগাস) পরা-

সমবেদী নার্ভতন্তুগুলি দিয়া অবশিষ্টাংশের অরেখ পেশীতন্তুগুলিতে পৌঁছাইয়া প্রাথমিক ক্রমসংকোচ উৎপন্ন করে।

প্রাথমিক ক্রমসংকোচ খাদ্যকে পাকস্থলীর দিকে কিছুটা আগাইয়া দিবার পরে গ্রাসনালীর খাদ্যস্ফীত শেষাংশের গাত্রে গ্রাহকগুলি উদ্দীপিত হইলে পূর্বোল্লেখিত ভেগাস-নির্ভর প্রতিবর্ত অথবা গ্রাসনালীগাত্রের স্থানীয় নার্ভজালের মাধ্যমে অনুষ্ঠিত স্থানীয় প্রতিবর্তের প্রভাবে গ্রাসনালীর ঐ অংশেই **গৌণ** (secondary) **ক্রমসংকোচ** উৎপন্ন হইতে পারে। ইহা খাদ্যকে অবশিষ্ট পথটুকু ঠেলিয়া পাকস্থলীর হৃৎ-মুখী প্রান্তে পৌঁছাইয়া দেয়—ইহার প্রবাহকালে গ্রাসনালীর ভিতরে চাপ একবারেই অতি দ্রুত বাড়িয়া প্রাথমিক ক্রমসংকোচের তুলনায় কিছু কম মাত্রায় পৌঁছায় এবং অবিলম্বে আবার কমিয়া স্বাভাবিক হয়। প্রাথমিক ক্রমসংকোচের দ্বারাই খাদ্যপিণ্ডটি হৃৎ-মুখী প্রান্তে পৌঁছাইয়া গেলে অথবা গ্রাসনালীর মধ্যে খাদ্য প্রবেশ না করিয়া থাকিলে গৌণ ক্রমসংকোচ ঘটে না। যে কোনও ক্রমসংকোচ গ্রাসনালীর প্রান্তে আসিলে হৃৎ-মুখী পেশীবলয় সাময়িক শিথিল হয় এবং খাদ্যপিণ্ডটি পাকস্থলীতে প্রবেশ করে।

বমি করিবার সময়ে এবং গোমহিষের রোমন্থনের সময়ে গ্রাসনালীর গাত্রে বিপরীতমুখী ক্রমসংকোচের প্রভাবে খাদ্য পাকস্থলী হইতে মুখে উঠিয়া আসে।

13.3 পাকস্থলীর সঞ্চালন

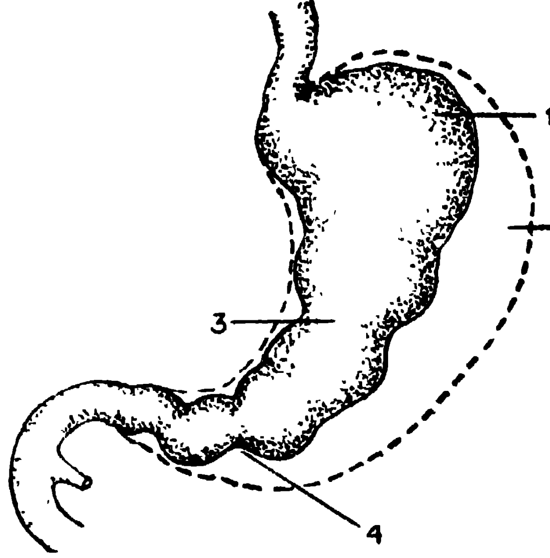
শূন্য পাকস্থলীর গাত্রে পেশীতন্তুগুলির টান ক্রমশঃ মৃদু হইতে প্রবলতর হইতে থাকে। ফলে ক্রমে পাকস্থলীর বিবরের আয়তন কমিয়া শূন্য পাকস্থলীটি সংকুচিত ও সংকীর্ণ নলের আকার ধারণ করে। এই বর্ধিত টানের মৃদু হ্রাসবৃদ্ধির জন্য পাকস্থলীর বিবরে মিনিটে বারকয়েক চাপের (pressure) অল্প হ্রাসবৃদ্ধি দেখা যায়। ক্রমে প্রায় 20-30 সেকেণ্ড স্থায়ী একপ্রকার ক্রমসংকোচ (peristalsis) তরঙ্গ প্রায় 2 সেকেণ্ড অন্তর শূন্য পাকস্থলীর হৃৎ-মুখী প্রান্ত হইতে পাইলোরিক প্রান্ত পর্যন্ত প্রবাহিত হইতে থাকে; এরূপ ক্রমসংকোচের প্রবাহকালে পাকস্থলীবিবরে প্রায় 5 সেণ্টিমিটার জলের অনুরূপ চাপ সৃষ্ট হয়। পাকস্থলীর পেশীগুলির টান বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে ক্রমসংকোচগুলির সংখ্যা, তীব্রতা ও স্থিতিকাল বাড়িতে থাকে। পরিণামে প্রথম প্রকার ক্রমসংকোচের তুলনায় প্রায় 2-10 গুণ বলিষ্ঠতর ক্রমসংকোচ তরঙ্গ অবিরাম একের পর এক শূন্য পাকস্থলীর গাত্র বাহিয়া নামিতে থাকে এবং উহার বিবরে প্রায় 40 সেণ্টিমিটার জলের অনুরূপ চাপ সৃষ্টি করে। উভয় প্রকার ক্রমসংকোচকেই পাকস্থলীর **ক্ষুধাজনিত সংকোচন** (hunger contractions) বলে; সম্ভবতঃ

রক্তে গ্লুকোজের মাত্রাল্পতা অথবা পাকস্থলীর শূন্যতাই ইহাদের কারণ। বহুক্ষণ অনাহারে থাকিলে ক্ষুধাজনিত ক্রমসংকোচগুলি অত্যন্ত তীব্র হইয়া প্রায় 2-3 মিনিট স্থায়ী এবং মৃদু বেদনাদায়ক সংকোচনে পরিণত হইতে পারে। ক্ষুধাজনিত সংকোচনের ফলে পাকস্থলীগাত্রের গ্রাহক হইতে সিম্প্যাথেটিক নার্ভ দিয়া বিভবপ্রবাহ মস্তিষ্কে পৌঁছিলে সম্ভবতঃ ক্ষুধা ও পাকস্থলীর শূন্যতার অনুভূতি জন্মায়; অবশ্য এবিষয়ে যথেষ্ট বিতর্কের অবকাশ আছে (14.1 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। শূন্য পাকস্থলীর সঞ্চালন ক্ষুদ্রান্ত্রের মোটিলিন নামক একটি পেপ্‌টাইড-বর্গীয় হর্মোনের উপরে বহু পরিমাণেই নির্ভর করে (15.7 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

পাকস্থলীতে খাদ্য প্রবেশ করিতে থাকিলে উহার পেশীতন্তুগুলির টান ক্রমশঃ কমিয়া পাকস্থলী শিথিল হইতে থাকে : সম্ভবতঃ খাদ্য গিলিবার সময়ে প্রতিবর্তের (reflex) ফলে পাকস্থলীগাত্রে ভেগাস নার্ভের প্রান্ত হইতে ভ্যাসো-অ্যাক্‌টিভ ইন্‌টেস্টিন্যাল পেপ্‌টাইড নামক রাসায়নিক বস্তুটি নিঃসৃত হয় এবং ইহাই পাকস্থলীর শৈথিল্য ঘটাইয়া তাহার বিবরে যথেষ্ট খাদ্যের স্থান করিয়া দেয়। পাকস্থলী খাদ্যে পূর্ণ হইতে থাকিলে তাহার গাত্রের টান-গ্রাহকগুলি (stretch receptors) হইতে উৎপন্ন বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) ভেগাস নার্ভের অন্তর্মুখ (afferent) নার্ভতন্তু দিয়া মস্তিষ্কে গিয়া প্রতিবর্তের (reflex) সৃষ্টি করে; ফলে ভেগাসের বহির্মুখ (efferent) নার্ভতন্তু দিয়া আগত বিভবপ্রবাহের তারতম্যের মাধ্যমে পাকস্থলীর পেশীগুলির টান ও তাহাদের ক্ষুধাজনিত সংকোচন, উভয়ই নিবারিত হয়।

পাকস্থলী খাদ্যে পূর্ণ হইলে ধীরে ধীরে পেশীতন্তুর টান বাড়িতে থাকে এবং অচিরে কয়েকপ্রকার সংকোচন দেখা দেয় (চিত্র 13.2) : (*i*) ফাণ্ডাসে ও পাকস্থলীর দেহে পেশীতন্তুর **টানবৃদ্ধিজনিত দীর্ঘস্থায়ী সংকোচনের** (tonic contractions) ফলে পাকস্থলীর বিবরে খাদ্যের খণ্ডগুলি ভাঙ্গিয়া মিশ্রিত হয়। (*ii*) পাকস্থলীর ফাণ্ডাস অথবা দেহের মধ্যভাগ হইতে গড়ে 20 সেকেণ্ড অন্তর একটি করিয়া অপেক্ষাকৃত মৃদু সংকোচন তরঙ্গ উৎপন্ন হইয়া ধীরে ধীরে পাইলোরাসের দিকে প্রবাহিত হয় এবং তাহার প্রভাবে খাদ্য পিষ্ট ও পাকস্থলী-রসের সহিত মিশ্রিত হয়; এই ধীরগামী সংকোচন তরঙ্গ-গুলিকে পাকস্থলীর **মিশ্রণ তরঙ্গ** (mixing wave) বলে এবং ইহাদের প্রভাবে পাকস্থলীর বিবরে চাপ বাড়িয়া প্রায় 10-12 সেণ্টিমিটার জলের চাপের মত দাঁড়ায়। (*iii*) পাকস্থলীর পাইলোরিক অংশের গাত্রে প্রায় 20 সেকেণ্ড অন্তর একটি করিয়া **শক্তিশালী ক্রমসংকোচ** (peristalsis) তরঙ্গ পাইলোরিক

প্রান্তের দিকে বহিতে থাকে। প্রত্যেক ক্রমসংকোচ তরঙ্গ পাইলোরিক প্রান্তের দিকে ক্রমশঃ তীব্রতর হইয়া পাকস্থলীর প্রান্তীয় অংশের বিবরে প্রায় 50-70 সেণ্টিমিটার জলের চাপের মত চাপ সৃষ্টি করে। এই অগ্রসরমান ক্রমসংকোচ এবং প্রায় রুদ্ধ পাইলোরিক পেশী-বলয়ের (sphincter) মাঝখানে চাপে পড়িয়া খাদ্য দলিত, পিষ্ট ও পাকস্থলী-রসের সহিত মিশ্রিত হইয়া তরল অম্লধর্মী খাদ্যমণ্ডে (acid chyme) পরিণত হয় এবং তাহার অধিকাংশই ক্রমসংকুচিত অংশের কেন্দ্রের উন্মুক্ত বিবরপথে আবার পাকস্থলীর দেহের দিকে ফিরিয়া আসে; কিন্তু প্রত্যেক ক্রমসংকোচ পাইলোরিক প্রান্তের নিকটে পৌঁছিলে পাইলোরিক পেশীবলয় এবং গ্রহণীর প্রথমাংশ সাময়িকভাবে শিথিল হয়, ফলে কয়েক মিলিলিটার তরল খাদ্যমণ্ড ক্রমসংকোচ-প্রসূত চাপের প্রভাবে পাইলোরিক প্রান্ত অতিক্রম করিয়া গ্রহণীতে প্রবেশ করে। এভাবে পাইলোরিক ক্রমসংকোচগুলি একদিকে পাকস্থলী-রসের সহিত খাদ্যকে মিশায় এবং অন্যদিকে খাদ্যমণ্ডকে পাকস্থলী হইতে ক্ষুদ্রান্ত্রে চালনা করে।



চিত্র 13.2. পাকস্থলীর সঞ্চালন। 1-ফাণ্ডাসে টানবৃদ্ধি, 2-আহারকালীন শৈথিল্য; 3-মিশ্রণ তরঙ্গ, 4-পাইলোরিক অংশে ক্রমসংকোচ।

পাকস্থলীর অরেখ পেশীতন্তুগুলির স্বতঃক্রিয় স্পন্দনের (automatic rhythmicity) জন্যই পাকস্থলীর সংকোচনগুলির উৎপত্তি ঘটে; এজন্যই সমস্ত নার্ভতন্তু নষ্ট করিয়া দিলেও পাকস্থলীর সঞ্চালন চলিতে থাকে। কিন্তু পাকস্থলীগাত্রের নার্ভজাল (nerve plexuses), বাহির হইতে আগত সমবেদী ও পরাসমবেদী নার্ভ এবং পৌষ্টিক নালীর গাত্র হইতে ক্ষরিত বিভিন্ন হর্মোন পাকস্থলীর সঞ্চালনকে নানাভাবে প্রভাবিত ও নিয়ন্ত্রিত করে।

পাকস্থলীর বিবরে প্রোটিন ও তাহার পরিপাকজাত বস্তুগুলি থাকিলে তাহাদের প্রভাবে পাইলোরিক অংশের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে রক্তে গ্যাস্ট্রিন নামক একটি হর্মোন ক্ষরিত হয়; উক্ত হর্মোনের প্রভাবে পাইলোরিক অংশের

ক্রমসংকোচ বাড়ে, পাইলোরিক পেশীবলয় শিথিল হয় এবং পাকস্থলী হইতে গ্রহণীতে খাদ্যমণ্ডের প্রবেশ ত্বরান্বিত হয়। পক্ষান্তরে, গ্রহণীতে অ্যাসিড ও ফ্যাট প্রবেশ করিলে ঐ অংশের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে যথাক্রমে **সিক্রিটিন** এবং **গ্যাস্ট্রিক ইন্‌হিবিটরি পেপ্‌টাইড** নামক দুইটি হর্মোন রক্তে ক্ষরিত হয় ; তাহাদের প্রভাবে পাকস্থলীর সঞ্চালন কমিয়া খাদ্যের ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রবেশ বিলম্বিত হয়।

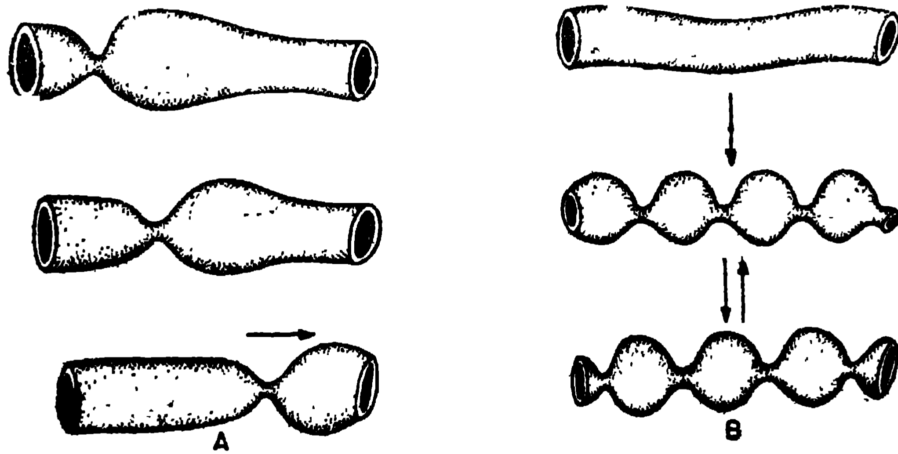
পাকস্থলী খাদ্যে পূর্ণ হইলে তাহার গাত্রের টানগ্রাহকগুলি (stretch receptors) উদ্দীপিত হয়। ফলে ঐ গ্রাহকগুলি হইতে অধঃশ্লৈষ্মিক স্তরের মেইস্‌নার-বর্ণিত নার্ভজাল (Meissner's plexus) দিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) পেশীস্তরের মায়েন্টেরিক নার্ভজালে পৌঁছায় ; ইহার ফলে **মায়েন্টেরিক প্রতিবর্ত** (myenteric reflex) নামক একটি স্থানীয় (local) প্রতিবর্তের উদ্ভব ঘটে এবং মায়েন্টেরিক নার্ভজালের নার্ভতন্তু দিয়া পেশীস্তরের পেশীতন্তুগুলিতে বিভবপ্রবাহ পৌঁছিয়া পাইলোরিক অংশের ক্রমসংকোচ বাড়াইয়া দেয়।

বাহির হইতে আগত সমবেদী (sympathetic) নার্ভতন্তুগুলি মুখ্যতঃ পাকস্থলীর সঞ্চালন কমাইয়া পাকস্থলীকে শিথিল করে এবং পাইলোরিক পেশীবলয়কে সংকুচিত করে ; অন্যদিকে ভেগাস নার্ভের পরাসমবেদী (parasympathetic) নার্ভতন্তুগুলি প্রধানতঃ পাকস্থলীর সঞ্চালন বাড়ায় এবং পাইলোরিক পেশীবলয়কে শিথিল করে। অ্যাসিডমিশ্রিত খাদ্যমণ্ড গ্রহণীতে প্রবেশ করিলে উহার রাসায়নিক ক্রিয়ায় অথবা গ্রহণীর খাদ্যজনিত স্ফীতির ফলে গ্রহণীগাত্রের নানা প্রকার গ্রাহকের উদ্দীপনা ঘটে এবং ভেগাসের অন্তর্মুখ (afferent) নার্ভতন্তু দিয়া বিভবপ্রবাহ সুষুম্নাশীর্ষকে (medulla oblongata) গিয়া **এন্টেরোগ্যাস্‌ট্রিক প্রতিবর্তের** (enterogastric reflex) সৃষ্টি করে ; ফলে বহির্মুখ (efferent) স্বতঃক্রিয় নার্ভতন্তু বাহিয়া বিভবপ্রবাহ পাকস্থলীর পেশীগুলিতে পৌঁছিয়া পাইলোরিক অংশের ক্রমসংকোচ কমাইয়া দেয় এবং ক্ষুদ্রান্ত্রে খাদ্যের প্রবেশ বিলম্বিত হয়। আবার পাকস্থলী খাদ্যে পূর্ণ হইয়া তাহার গাত্রের টানগ্রাহকগুলি উদ্দীপিত হইলে একপ্রকার টানজনিত প্রতিবর্তের সৃষ্টি হয় ; ফলে ঐ গ্রাহকগুলি হইতে ভেগাস নার্ভের অন্তর্মুখ নার্ভতন্তু দিয়া বিভবপ্রবাহ সুষুম্নাশীর্ষকে যায় এবং শেষোক্ত স্থান হইতে ভেগাসের বহির্মুখ নার্ভতন্তু দিয়া বিভবপ্রবাহ পাকস্থলী-গাত্রের পেশীগুলিতে আসিয়া পাইলোরিক অংশের ক্রমসংকোচ বাড়ায় ও পাইলোরিক পেশীবলয়কে শিথিল করে—ইহাতে পাকস্থলী হইতে গ্রহণীতে খাদ্যের প্রবেশ ত্বরান্বিত হয়।

13.4 ক্ষুদ্রান্ত্রের সঞ্চালন

ক্ষুদ্রান্ত্রে খাদ্য প্রবেশ করিলে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের ভিলাসগুলি (villi) আকুঞ্চিত-প্রসারিত ও আন্দোলিত হইতে থাকে। ক্ষুদ্রান্ত্রের গাত্রে পাকস্থলীর দিক হইতে মলাশয়ের দিকে ভিলাসের সঞ্চালনহার ক্রমশঃ হ্রাস পায়। খাদ্যের সংস্পর্শে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের গ্রাহকগুলি (receptors) উদ্দীপিত হইলে সেগুলি হইতে উৎপন্ন বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের মেইস্‌নার-বর্ণিত ও মায়েন্টেরিক নার্ভজালগুলির নার্ভতন্তু বাহিয়া ভিলাসের ভিতরে অবস্থিত অরেখ পেশীতন্তুগুলিতে পৌঁছায় : **এই স্থানীয় প্রতিবর্তের** (local reflex) ফলে শেষোক্ত পেশীতন্তুগুলির সংকোচন ঘটিয়া ভিলাস সঞ্চালিত হয়।

ক্ষুদ্রান্ত্রের পেশীস্তরের অরেখ পেশীতন্তুগুলির ক্রিয়ায় ক্ষুদ্রান্ত্রে নিম্নলিখিত সঞ্চালনগুলি ঘটিয়া থাকে (চিত্র 13.3)।



চিত্র 13.3. ক্ষুদ্রান্ত্রের সঞ্চালন। A-ক্রমসংকোচ। B-ছান্দিক বিখণ্ডন।

1. **দোলক সঞ্চালন (pendular movements) :** কখনও কখনও ক্ষুদ্রান্ত্রের একাংশের গাত্র অভ্যন্তরস্থ খাদ্যের উপর দিয়া পিছলাইয়া প্রায় দোলকের মত মিনিটে প্রায় 10 বার দুইদিকে নড়াচড়া করে। ফলে খাদ্যের বিভিন্ন অংশের সহিত ক্ষুদ্রান্ত্রের নানা অংশের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর কোষগুলির সংস্পর্শ ঘটিয়া ভিন্ন ভিন্ন খাদ্যবস্তুর শোষণ সম্ভবপর হয়। তাহা ছাড়া এরূপ সঞ্চালন খাদ্যকে পাচকরসের সহিত মিশাইতে এবং ক্ষুদ্রান্ত্রের কুণ্ডলীগুলিকে যথাযথভাবে বিন্যস্ত করিতে সাহায্য করে।

2. **ছান্দিক বিখণ্ডন (rhythmic segmentation) :** ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে খাদ্য থাকিলে উহার গাত্রে 1 সেণ্টিমিটার বা ততোধিক পরে পরে নিয়মিত দূরত্বে কতকগুলি বলয়ের মত সংকোচন ঘটিয়া ভিতরের খাদ্যমণ্ডকে

কয়েকটি ডিম্বাকার ভাগে বিভক্ত করে ; পরমুহূর্তে সংকুচিত অংশগুলি শিথিল হয় এবং পূর্বেকার প্রতি ভাগের কেন্দ্রীয় অংশে সংকোচন ঘটিয়া নূতন কতকগুলি ডিম্বাকার ভাগ দেখা দেয় (চিত্র 13.3)। এইভাবে পরপর কয়েকবার সংকোচন ও শৈথিল্য চলিবার পরে ক্ষুদ্রান্ত্রের উক্ত অংশটি কিছুক্ষণের জন্য শিথিল হয়। মিনিটে 6-12 বার এরূপ ছান্দিক বিখণ্ডন চলিতে পারে ; গ্রহণীতে মধ্য- ও শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের তুলনায় ইহা দ্রুততর ঘটিয়া থাকে। ছান্দিক বিখণ্ডন খাদ্যকে দলিত ও পিষ্ট করিয়া পাচক-রসের সহিত ভালভাবে মিশায় : তাহা ছাড়া ইহা খাদ্যের বিভিন্ন অংশকে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের সংস্পর্শে আনিয়া ও ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রে রক্ত ও লসিকার সঞ্চালন বাড়াইয়া খাদ্যের শোষণও বর্ধিত করে। ছান্দিক বিখণ্ডন প্রধানতঃ ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের মায়েন্টেরিক নার্ভজালের ক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়। বাহির হইতে আগত সকল নার্ভতন্তু কাটিয়া দিবার পরেও ইহা অক্ষুণ্ণ থাকে, কিন্তু সমবেদী (sympathetic) ও পরাসমবেদী (parasympathetic) নার্ভতন্তুর উদ্দীপনায় ইহা যথাক্রমে কমিয়া ও বাড়িয়া যায়।

3. **ক্রমসংকোচ (peristalsis) :** ক্ষুদ্রান্ত্রে খাদ্য থাকিলে তাহার গাত্র বাহিয়া অনিয়মিতভাবে ও অল্পক্ষণ পরে পরে সেকেণ্ডে প্রায় 2-20 সেণ্টিমিটার গতিতে ক্রমসংকোচ নামক একপ্রকার বলয়াকার সংকোচন তরঙ্গের আকারে পাকস্থলীর দিক হইতে মলাশয়ের দিকে কয়েক সেণ্টিমিটার হইতে এক মিটার পর্যন্ত দূরত্ব বহিয়া যায়। খাদ্যকে ক্রমশঃ মলাশয়ের দিকে বহিয়া লইয়া যাওয়াই ক্রমসংকোচের প্রধান কাজ। সাধারণতঃ বিপরীতমুখে অর্থাৎ মলাশয়ের দিক হইতে পাকস্থলীর দিকে ক্রমসংকোচ প্রবাহিত হয় না ; গ্রহণীর একাংশ কাটিয়া সেই খণ্ডটিকে সেখানেই বিপরীতদিকে মুখ করিয়া বসাইয়া সেলাই করিয়া দিলে ক্রমসংকোচ ঐ বিপরীতমুখী অংশটিকে অতিক্রম করিতে পারে না। তাহা ছাড়া ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রথমাংশ হইতে মলাশয়ের দিকে ক্রমসংকোচের শক্তি ও সংখ্যা ক্রমশঃ হ্রাস পায়। এসকল তথ্যের ব্যাখ্যায় অ্যাল্‌ভারেজ তাঁহার গ্র্যাডিয়েণ্ট বাদে (gradient theory) বলিয়াছেন যে, ক্ষুদ্রান্ত্রের পাকস্থলী-সন্নিহিত অংশ হইতে মলাশয়ের দিকে উহার গাত্রের উদ্দীপনশক্তি (excitability), স্বতঃক্রিয় স্পন্দনশীলতা (automatic rhythmicity) প্রভৃতি গুণ ক্রমশঃ হ্রাস পায় ; সেজন্যই ক্রমসংকোচ সাধারণতঃ পাকস্থলীর দিকে উৎপন্ন হইয়া মলাশয়ের দিকে যায়, সাধারণতঃ বিপরীতমুখে যাইতে পারে না এবং মলাশয়ের দিকে ক্রমশঃ তাহার শক্তি ও সংখ্যাও কমিয়া যায়। বেলিস ও স্টার্লিং কর্তৃক প্রস্তাবিত আন্ত্রিক নিয়মে (law

of intestine) বলা হইয়াছিল যে, খাদ্যের জন্য ক্ষুদ্রান্ত্রের কোনও স্থানে উদ্দীপনা ঘটিলে ঐ অংশের 2-3 সেণ্টিমিটার পিছনে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্র সংকুচিত হয় এবং উহার কয়েক সেণ্টিমিটার সামনে (অর্থাৎ মলাশয়ের দিকে) ক্ষুদ্রান্ত্রের শৈথিল্য ঘটে ; ফলে পিছনের সংকুচিত অংশের চাপে খাদ্যমণ্ড সামনের শিথিল অংশে আগাইয়া গিয়া এবারে শেষোক্ত অংশকে উদ্দীপিত করে ; এইভাবে পর পর গ্রহণী হইতে মলাশয়ের দিকে উদ্দীপনার ফলে ক্রমসংকোচ আগাইয়া চলে। কিন্তু এই নিয়মে প্রস্তাবিত ক্রমসংকোচের পূর্বগামী শৈথিল্যটির অস্তিত্ব অধিকাংশ ক্ষেত্রেই প্রমাণিত হয় নাই।

বর্তমানে মনে করা হয় যে, হৃৎপিণ্ডের সাইনোঅ্যাট্রিয়াল পর্ব নামক পেস্‌মেকারের মতই ওডাই পেশীবলয়ের নিকটে গ্রহণীগাত্রের দৈর্ঘ্যাভিমুখী (longitudinal) অরেখ পেশীতন্তুগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রের **গতিনিয়ামক** (intestinal pacemaker) রূপে কাজ করে। মিনিটে প্রায় 10-12 বার ঐ অংশের পেশীতন্তুগুলিতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে উৎপন্ন বিছদনের (depolarization) প্রবাহ তড়িৎবিভবের শ্লথগতি তরঙ্গরূপে (slow wave of electrical potential) ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের দৈর্ঘ্যাভিমুখী পেশীতন্তুগুলি বাহিয়া ক্রমশঃ মলাশয়ের দিকে নামিয়া যায়। এই শ্লথগতি বিভবপ্রবাহ অবশ্য সোজাসুজি ক্ষুদ্রান্ত্রের সংকোচন ঘটাইতে পারে না। কিন্তু খাদ্যজনিত স্ফীতির ফলে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রে টান পড়িয়া সেখানের টানগ্রাহকগুলি উদ্দীপিত হইলে যে মায়েণ্টেরিক প্রতিবর্তের (myenteric reflex) উৎপত্তি ঘটে, তাহার ক্রিয়াজনিত বিভব শ্লথগতি বিভবপ্রবাহের উপরে যথাযথভাবে ন্যস্ত হইলে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের পেশীতন্তুগুলির নানাপ্রকার সংকোচন মূর্ত হইয়া ওঠে। শ্লথগতি বিভবপ্রবাহের তরঙ্গগুলি গ্রহণীতে উৎপন্ন হইয়া মলাশয়ের দিকে যায় ; তাহাদের উৎপত্তি ও প্রবাহের উপরেই সংকোচনের হার নির্ভর করে এবং এই শ্লথগতি তরঙ্গগুলির সংখ্যা ক্রমশঃ শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের দিকে কমিয়া মিনিটে মাত্র 6-8 দাঁড়ায়। এসকল কারণেই ক্রমসংকোচ গ্রহণী হইতে মলাশয়ের দিকে প্রবাহিত হয় এবং ক্রমসংকোচ ও ছান্দিক বিখণ্ডন উভয়েরই শক্তি ও সংখ্যা ক্রমশঃ শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্রের দিকে হ্রাস পায়।

উল্লিখিত **মায়েণ্টেরিক প্রতিবর্ত** ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের স্থানীয় নার্ভজালগুলির উপরে নির্ভর করে—ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রে অ্যাট্রোপিন বা কোকেনের প্রলেপ দিয়া ঐ নার্ভজালগুলিকে নিষ্ক্রিয় করিয়া দিলে ক্রমসংকোচ বন্ধ হইয়া যায়, কিন্তু বাহির হইতে আগত সকল নার্ভ নষ্ট করার পরেও ক্রমসংকোচ চলিতে থাকে। ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের টানগ্রাহকগুলির উদ্দীপনা ঘটিলে সেগুলি হইতে

নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) মেইস্‌নার-বর্ণিত নার্ভজালের নার্ভতন্তুগুলি দিয়া মায়েণ্টেরিক নার্ভজালে পৌঁছায়, শেষোক্ত নার্ভজালের নার্ভতন্তুগুলি দ্বারা বাহিত বিভবপ্রবাহ ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের পেশীস্তরে পৌঁছিয়া পেশীতন্তুগুলির সংকোচন ঘটায় ; এভাবেই মায়েণ্টেরিক প্রতিবর্ত পরিচালিত হইয়া ক্রমসংকোচ সম্ভবপর করে।

বাহির হইতে আগত সমবেদী ও পরাসমবেদী নার্ভগুলি ক্রমসংকোচের জন্য অপরিহার্য না হইলেও তাহাদের উদ্দীপনার ফলে মায়েণ্টেরিক নার্ভজালের ক্রিয়া প্রভাবিত হইয়া ক্রমসংকোচের সংখ্যা যথাক্রমে কমিয়া ও বাড়িয়া যায়। যথা, আহারের পরে পাকস্থলীর স্ফীতি ঘটিলে তাহার গাত্রের টানগ্রাহকগুলি উদ্দীপিত হইয়া গ্যাস্‌ট্রো-এণ্টেরিক প্রতিবর্তের উৎপত্তি ঘটায়, ফলে ভেগাস নার্ভ দিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ ক্ষুদ্রান্ত্রে পৌঁছিয়া ক্রমসংকোচ বাড়াইয়া দেয়।

13.5 বৃহদন্ত্রের সঞ্চালন

পূর্বে উল্লেখিত গ্যাস্‌ট্রো-এণ্টেরিক প্রতিবর্তের (13.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) সময়ে বহির্মুখ স্বতঃক্রিয় (সম্ভবতঃ ভেগাস নার্ভের) নার্ভতন্তু দিয়া ইলিওকোলিক পেশীবলয়ে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ পৌঁছিলে উক্ত পেশীবলয়টি শিথিল হয় এবং ক্রমসংকোচ-বাহিত খাদ্যমণ্ড শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে মলাশয়ে প্রবেশ করে।

1. ভাণ্ডীকরণ (haustration) : মলাশয়ের (colon) গাত্রে ক্ষুদ্রান্ত্রের ছান্দিক বিখণ্ডনের (rhythmic segmentation) অনুরূপ এইপ্রকার সংকোচন খাদ্যাবশেষকে আলোড়িত করিয়া জল, অজৈব লবণ প্রভৃতির শোষণে সহায়তা করে এবং খাদ্যাবশেষকে ধীরে ধীরে অনুপ্রস্থ ও অবরোহী মলাশয়ের দিকে ঠেলিয়া দেয়। ভাণ্ডীকরণের সময়ে মলাশয়ের একাংশে মায়েণ্টেরিক নার্ভজালের ক্রিয়ায় প্রায় 2-3 সেণ্টিমিটার অন্তর বৃত্তাকার (circular) পেশী-স্তবকের পেশীতন্তুগুলি সংকুচিত হইয়া উক্ত অংশকে কয়েকটি ডিম্বাকার খণ্ডে ভাগ করে ; অচিরে এই খণ্ডগুলির গাত্রে টিনিয়া কোলাই পেশীগুচ্ছের দৈর্ঘ্যাভিমুখী (longitudinal) পেশীতন্তুগুলিও সংকুচিত হয়। ফলে খণ্ডগুলির বিবরের খাদ্যাবশেষ আলোড়িত হয় এবং মলাশয়ের শিথিল অবশিষ্টাংশে গিয়া তাহাকে কয়েকটি থলি বা ভাণ্ডের মত ফুলাইয়া তোলে। প্রায় এক মিনিট পর্যন্ত এভাবে সংকোচনের পরে মলাশয়ের প্রথমোক্ত অংশটি শিথিল হয় এবং আরও কয়েক মিনিট পরে উহার অপর একটি অংশে অনুরূপ সংকোচন আরম্ভ হয়।

2. **ক্রমসংকোচ (peristalsis) :** মলাশয়ের গাত্রে নিয়মিত ক্রম-সংকোচের শক্তি ও সংখ্যা খুব কম। তাহা ছাড়া ইহার গাত্রে মিনিটে 6 বার পর্যন্ত বিপরীত ক্রমসংকোচ (reverse peristalsis) উৎপন্ন হইয়া অনুপ্রস্থ ও আরোহী মলাশয় দিয়া সাধারণ ক্রমসংকোচের বিপরীতমুখে অর্থাৎ ক্ষুদ্রান্ত্রের দিকে প্রবাহিত হয়। এই দুই কারণে খাদ্যাবশেষ বা মল দীর্ঘকাল মলাশয়ে সঞ্চিত থাকিতে পারে। অবশ্য মানুষের মলাশয়ে বিপরীত ক্রম-সংকোচ অপেক্ষাকৃত দুর্লভ।

3. **বলিষ্ঠ ক্রমসংকোচ (mass or rush peristalsis) :** দিনে দুই-একবার মলাশয়ের অনুপ্রস্থ (transverse) ও অবরোহী (descending) অংশে এজাতীয় কয়েকটি সংকোচন ঘটিয়া সঞ্চিত মলকে ঐসকল অংশ হইতে মলনালীর দিকে চালিত করে। প্রত্যেক বলিষ্ঠ ক্রমসংকোচের সময়ে অনুপ্রস্থ মলাশয়ের একাংশ হইতে শুরু করিয়া মলনালীর দিকে অনুপ্রস্থ ও অবরোহী মলাশয়ের প্রায় 25 সেণ্টিমিটার পর্যন্ত দীর্ঘ অংশ অত্যন্ত দ্রুত সংকুচিত হইয়া পড়ে : মলাশয়ের এই দীর্ঘ অংশটি ½ মিনিটের অধিককাল সংকুচিত অবস্থায় থাকার পরে ধীরে ধীরে শিথিল হয়। বলিষ্ঠ ক্রমসংকোচের ফলে মলাশয়ের বিবরে প্রায় 100 সেণ্টিমিটার জলের চাপের অনুরূপ চাপ সৃষ্ট হয়। মল জমিয়া মলাশয় ফুলিয়া উঠিলে উহার গাত্রে টানগ্রাহকগুলি উদ্দীপিত হইয়া মায়েণ্টেরিক প্রতিবর্তের (13.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) সৃষ্টি করিতে পারে এবং ইহার ফলে বলিষ্ঠ ক্রমসংকোচের উদ্ভব ঘটিতে পারে। তাহা ছাড়া আহারের সময়ে খাদ্য পাকস্থলীতে প্রবেশ করিয়া পাকস্থলীগাত্রের গ্রাহকগুলির উদ্দীপনা ঘটায়, ফলে গ্যাস্ট্রোকোলিক প্রতিবর্তের উৎপত্তি ঘটিয়া পেল্‌ভিক নার্ভের পরাসমবেদী নার্ভতন্তু দিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ মলাশয়ের গাত্রে পৌঁছায় এবং মায়েণ্টেরিক নার্ভজালকে প্রভাবিত করিয়া বলিষ্ঠ ক্রমসংকোচ বাড়ায়।

ক্ষুদ্রান্ত্রের মত মলাশয়ের প্রথমাংশের পেশীতন্তুতেও স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিছদন (depolarization) উৎপন্ন হইয়া তড়িৎবিভবের শ্লথগতি তরঙ্গের (slow wave of electrical potential) আকারে মিনিটে প্রায় দুইবার মলাশয়ের দৈর্ঘ্যাভিমুখী (longitudinal) পেশীতন্তুগুলি বাহিয়া ক্রমশঃ মলনালীর দিকে নামিয়া যায়। এই শ্লথগতি বিভবতরঙ্গের উপরে মায়েণ্টেরিক নার্ভজালের ক্রিয়াজনিত বিভব যথাযথভাবে ন্যস্ত হইয়াই মলাশয়ের ক্রমসংকোচ এবং বলিষ্ঠ ক্রমসংকোচ সৃষ্টি করে। মলাশয়ের গাত্রে শ্লথগতি বিভবতরঙ্গগুলির সংখ্যা

ক্রমশঃ মলনালীর দিকে বাড়িয়া মিনিটে 5-6 পর্যন্ত হইতে পারে ; এজন্যই বলিষ্ঠ ক্রমসংকোচের শক্তি ও সংখ্যা মলনালীর দিকে ক্রমশঃ বৃদ্ধি পায়।

বৃহদন্ত্রের উপরে সমবেদী (sympathetic) নার্ভতন্তুগুলির ক্রিয়া পরা-সমবেদী নার্ভতন্তুগুলির বিপরীত—সমবেদী নার্ভতন্তু মলাশয় ও মলনালীকে শিথিল করে।

13.6 মলত্যাগ

মলাশয়ের বলিষ্ঠ ক্রমসংকোচের ফলে মলনালীতে মল প্রবেশ করিলে মলনালীর গাত্রের টানগ্রাহকগুলি (stretch receptors) উদ্দীপিত হইয়া দুইপ্রকার প্রতিবর্তের উদ্ভব ঘটায় : (a) **স্থানীয় প্রতিবর্ত** : উক্ত টান-গ্রাহকগুলি হইতে উদ্ভূত নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) মলাশয় ও মলনালীর গাত্রে মেইস্নার-বর্ণিত নার্ভজালের (Meissner's plexus) নার্ভ-তন্তুগুলি দিয়া মায়েন্টেরিক নার্ভজালে পৌঁছায় এবং শেষোক্ত নার্ভজালের নার্ভতন্তুগুলি অবরোহী মলাশয়, শ্রোণীদেশীয় বা পেল্ভিক মলাশয় ও মলনালীর পেশীতন্তুগুলিতে বিভবপ্রবাহ পৌঁছাইয়া দেয় ; ফলে ঐ পেশী-তন্তুগুলির সঞ্চালনে মলাশয়ের শেষাংশ ও মলনালীতে ক্রমসংকোচ উৎপন্ন হয়। ইহাকে **মলত্যাগ প্রতিবর্ত** (defecation reflex) বলে। (b) **স্বতঃক্রিয় নার্ভজনিত প্রতিবর্ত** : মলনালীর টানগ্রাহকগুলিতে উৎপন্ন বিভবপ্রবাহ অন্তর্মুখ (afferent) নার্ভতন্তু বাহিয়া সুষুম্নাকাণ্ডের ত্রিকাস্থিখণ্ডক-গুলিতে (sacral segments) গিয়া পৌঁছিলে ঐসকল খণ্ডকের নার্ভকোষ হইতে উদ্ভূত নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ পেল্ভিক নার্ভ ও নার্ভাস্ এরিজেন্সের পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলি দিয়া মলাশয় ও মলনালীর গাত্রে এবং মলনালীর প্রান্তে অবস্থিত অন্তঃপায়ুবলয় (internal anal sphincter) নামক পেশী-বলয়ে যায়। ইহার ফলে মলাশয় ও মলনালীর গাত্রে মায়েন্টেরিক নার্ভজালের ক্রিয়া প্রভাবিত হইলে মলাশয়ের শেষাংশ ও মলনালীতে ক্রমসংকোচের সংখ্যা ও শক্তি বৃদ্ধি পায়। উপরি-উক্ত দুই প্রতিবর্তের মিলিত ক্রিয়ায় অবরোহী মলাশয়, পেল্ভিক মলাশয় ও মলনালীতে সঞ্চিত মল ক্রমসংকোচ দ্বারা মল-দ্বারের দিকে চালিত হয় এবং মলত্যাগের প্রবণতা জাগে। এই অবস্থায় স্বেচ্ছায় রুদ্ধনিঃশ্বাসে মধ্যচ্ছদাকে (diaphragm) নিশ্চল রাখিয়া এবং উদরের পেশী সংকুচিত করিয়া বৃহদন্ত্রের উপরে চাপ বাড়ানো যায়, ফলে মলনালী হইতে মলদ্বারের দিকে মলের সঞ্চালনে আরও সাহায্য হয়। এই সঙ্গেই নার্ভাস্ এরিজেন্সের পরাসমবেদী নার্ভতন্তুগুলির প্রভাবে অন্তঃপায়ুবলয় শিথিল হয় ;

স্বেচ্ছায় পুডেন্ডাল নার্ভের চেষ্টীয় (motor) নার্ভতন্তুগুলি দিয়া বহিঃপায়ু-বলয়ের (external anal sphincter) ঐচ্ছিক পেশীতন্তুগুলিতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ পাঠাইয়া ঐ পেশীবলয়টিকেও শিথিল করা হয়। এসকল ক্রিয়ার ফলে মলনালী হইতে মল শিথিল মলদ্বার দিয়া দেহের বাহিরে যায়। পক্ষান্তরে, মলত্যাগ প্রতিবর্ত ও স্বতঃক্রিয় নার্ভজনিত প্রতিবর্তের ক্রিয়ায় মলত্যাগের প্রবণতা জন্মাইলেও স্বেচ্ছায় পুডেন্ডাল নার্ভের চেষ্টীয় নার্ভতন্তুর মাধ্যমে বহিঃপেশীবলয়ের ঐচ্ছিক পেশীকে সংকুচিত করিয়া সাময়িকভাবে মলত্যাগ বন্ধ রাখা যায়।

13.7 বমন

বমন প্রতিবর্তের (reflex) নিয়ন্ত্রণাধীন এবং এই প্রতিবর্তের কেন্দ্রটি সুষুম্নাশীর্ষকে (medulla oblongata) অবস্থিত। প্রধানতঃ তিনভাবে এই প্রতিবর্তটির সূচনা ঘটে। (*a*) ডিজিটালিস, মর্ফিন, এমেটিন, তুঁতে প্রভৃতি বস্তু অথবা রোগজীবাণুর জীববিষ (toxin) রক্তে বা সেরিব্রোস্পাইন্যাল রসে প্রবেশ করিলে কিংবা রক্তে ইউরিয়ার মাত্রাধিক্য ঘটিলে সুষুম্নাশীর্ষকের চতুর্থ মস্তিষ্কনিলয়ের (cerebral ventricle) নিকটে কতকগুলি রসগ্রাহক (chemoreceptor) উদ্দীপিত হয় এবং সেগুলি হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) বমনকেন্দ্রে পৌঁছিয়া তাহাকে উদ্দীপিত করে। (*b*) উদ্বেগ, অন্যান্য মানসিক (psychic) কারণ, মস্তিষ্কের আঘাত বা টিউমার প্রভৃতির প্রভাবে মস্তিষ্কের হাইপোথ্যালামাস, অ্যামিগ্ডালা, হিপ্পোক্যাম্পাস প্রভৃতি অংশের উদ্দীপনা ঘটিলে সেখান হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ আসিয়া বমনকেন্দ্রকে উদ্দীপিত করে। (*c*) পৌষ্টিক নালী, কর্ণ, হৃৎপিণ্ড, জরায়ু প্রভৃতি নানা অঙ্গের গ্রাহককে (receptor) যথাযথ উদ্দীপনায় অন্তর্মুখ (afferent) নার্ভ দিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ বমনকেন্দ্রে গিয়া তাহাকে উদ্দীপিত করিতে পারে; যথা, গতি ও ঘূর্ণনের প্রভাবে অন্তঃকর্ণের (internal ear) প্রোপ্রায়োসেপ্টরগুলি উদ্দীপিত হইলে অষ্টম করোটিক (cranial) নার্ভ দিয়া বিভবপ্রবাহ বমনকেন্দ্রে যায়, তালু ও গলবিলের স্পর্শগ্রাহকগুলি উদ্দীপিত হইলে পঞ্চম ও নবম করোটিক নার্ভ বমনকেন্দ্রে বিভবপ্রবাহ বহিয়া আনে, আবার পাকস্থলী বা ক্ষুদ্রান্ত্রের উত্তেজনা (irritation) অথবা তাহাদের বিবরে চাপবৃদ্ধির ফলে ভেগাস ও স্প্ল্যাংক্নিক্ নার্ভ বাহিয়া বিভবপ্রবাহ বমনকেন্দ্রে পৌঁছায়।

যে কোনও কারণে বমনকেন্দ্র উদ্দীপিত হইলে উহা সুষুম্নাশীর্ষকে

অবস্থিত শ্বাসকেন্দ্র, লালাক্ষরণকেন্দ্র, রক্তসংবহনকেন্দ্র প্রভৃতির কার্যে সঙ্গতি আনিয়া বমনক্রিয়া সম্ভবপর করে। বমনকেন্দ্র উদ্দীপিত হইলে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ ভেগাস ও সমবেদী (sympathetic) নার্ভ দিয়া গ্রাসনালী, পাকস্থলী ও গ্রহণীতে, ফ্রেনিক নার্ভ দিয়া মধ্যচ্ছদায় (diaphragm), সপ্তম ও নবম করোটিক নার্ভ দিয়া লালাগ্রন্থিগুলিতে এবং পঞ্চম, নবম, দ্বাদশ প্রভৃতি করোটিক নার্ভ দিয়া গলবিল, জিহ্বা প্রভৃতিতে যায়। ফলে বমনেচ্ছা (nausea) হওয়ামাত্র লালাক্ষরণ ও পাকস্থলীর শ্লেষ্মাক্ষরণ বাড়ে। পাকস্থলীর ঊর্ধ্বাংশের পেশী শিথিল হইয়া এবং মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র (jejunum), গ্রহণী (duodenum), পাইলোরিক পেশীবলয় ও পাইলোরিক অংশের পেশীর পরপর সংকোচন ঘটিয়া ঐসকল অংশ হইতে খাদ্য পাকস্থলীর শিথিল ঊর্ধ্বাংশের বিবরে উঠিয়া আসে। অতঃপর হৃৎ-মুখী পেশীবলয় ও গ্রাসনালী শিথিল হয়। শ্বাস টানিয়া লইয়া ও শ্বাসরন্ধ্র (glottis) রুদ্ধ রাখিয়া সংকুচিত মধ্যচ্ছদাকে উদরের দিকে নামাইয়া নিশ্চলভাবে রাখা হয়। ইহার পরে উদরের পেশীর সবল সংকোচনের দ্বারা উদরপ্রাচীর ও মধ্যচ্ছদার মধ্যে চাপ দিয়া পাকস্থলীর ঊর্ধ্বাংশ হইতে খাদ্যবস্তুকে শিথিল গ্রাসনালী দিয়া মুখের দিকে চালিত করা হয়। গ্রাসনালীর গাত্রে বিপরীত ক্রমসংকোচের (antiperistalsis) দ্বারাও খাদ্য সহজে মুখে উঠিয়া আসিতে পারে। কিন্তু শ্বাসরন্ধ্র রুদ্ধ থাকায় এবং কোমল তালু উপরে উঠিয়া নাসাগলবিলকে রুদ্ধ রাখায় শ্বাসনালী বা নাসিকায় ঐ খাদ্য ঢুকিতে পারে না। বমনের শেষে মধ্যচ্ছদা শিথিল হইয়া উপরের দিকে উঠিয়া এবং বক্ষপ্রাচীরের পেশী সংকুচিত হইয়া বক্ষগহ্বরে চাপ বাড়ে, ফলে গ্রাসনালী হইতে শেষ খাদ্যটুকুও মুখে উঠিয়া আসিতে পারে। ইহার পরে পাকস্থলী ও ক্ষুদ্রান্ত্র আবার শিথিল হয় এবং হৃৎ-মুখী পেশীবলয় আবার সংকুচিত হইয়া যায়।

চতুর্দশ পরিচ্ছেদ

ক্ষুধা ও তৃষ্ণা

14.1 ক্ষুধা

ক্ষুধা (hunger) ও ক্ষুন্নিবৃত্তি (satiety) মস্তিষ্কের হাইপোথ্যালামাস, লিম্বিক তন্ত্রের অন্তর্গত হিপ্পোক্যাম্পাল জাইরাস, সিংগুলেট জাইরাস, অ্যামিগ্ডালয়েড নিউক্লিয়াস প্রভৃতি অংশের নার্ভকেন্দ্রগুলির উপরে নির্ভর করে। হাইপোথ্যালামাসের পার্শ্ব-অংশে (lateral) একটি **ক্ষুধাকেন্দ্র** বা **আহারকেন্দ্র** (hunger centre or feeding centre) এবং অঙ্কীয় মধ্যাংশে (ventromedial) একটি **ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্র** (satiety centre) আছে বলিয়া মনে করা হয় : কারণ (*i*) হাইপোথ্যালামাসের পার্শ্ব-অংশে ক্ষত (lesion) হইলে অথবা উহার অঙ্কীয় মধ্যাংশের নার্ভকেন্দ্রকে তড়িৎ-প্রয়োগে বা অ্যাম্-ফেটামিন দিয়া উদ্দীপিত করিলে বিড়াল, ইঁদুর প্রভৃতি প্রাণীর ক্ষুধা সম্পূর্ণ লোপ পায় এবং উহারা যথেষ্ট খাদ্য পাইলেও সম্পূর্ণ অনাহারে থাকিয়া ক্রমে শীর্ণ হইয়া যায় : পক্ষান্তরে (*ii*) আঘাত বা গোল্ড-থায়োগ্লুকোজ প্রয়োগে হাইপোথ্যালামাসের অঙ্কীয় মধ্যাংশে ক্ষত উৎপন্ন হইলে অথবা উপযুক্ত শক্তির তড়িৎ প্রয়োগে হাইপোথ্যালামাসের পার্শ্বীয় (lateral) নার্ভকেন্দ্রকে উদ্দীপিত করিলে বানর, ছাগল, ইঁদুর, বিড়াল প্রভৃতি প্রাণীর অপরিসীম ক্ষুধাবৃদ্ধি ঘটে এবং ক্রমাগত অতিভোজনের ফলে উহারা মেদভারগ্রস্ত (obese) হইয়া পড়ে।

সম্ভবতঃ ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্রের প্রভাবে বা অন্য কোনও ভাবে নিবারিত না হইলে ক্ষুধাকেন্দ্রটি অবিরাম সক্রিয় থাকিয়া প্রাণীকে আহারে প্রণোদিত করে। পক্ষান্তরে আহারের ফলে ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্র নিম্নলিখিত নানাভাবে উদ্দীপিত হইয়া ক্ষুধাকেন্দ্রের নার্ভকোষগুলির ক্রিয়া সাময়িকভাবে বন্ধ করিয়া দিলে ক্ষুধা চলিয়া যায় : (*i*) ভোজনকালে খাদ্যের স্বাদ, স্পর্শ, গন্ধ প্রভৃতির জন্য জিহ্বা, গলবিল, মুখবিবর, নাসিকা প্রভৃতির গ্রাহকগুলির (receptor) উদ্দীপনা ঘটিলে বিভিন্ন করোটিক নার্ভ বাহিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) মস্তিষ্কে গিয়া ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্রকে উদ্দীপিত করে এবং উহা ক্ষুধাকেন্দ্রের ক্রিয়াকে সাময়িকভাবে নিবারণ করে—এজন্যই গ্রাসনালীর ফিশ্চুলা-বিশিষ্ট কুকুরকে মিথ্যা আহার (sham feeding, 6.5 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) করাইলেও তাহার ক্ষুন্নিবৃত্তি ঘটিয়া থাকে ; (*ii*) পাকস্থলী খাদ্যে পূর্ণ হইলে উহার গাত্রে টানগ্রাহকগুলি (stretch

receptors) উদ্দীপিত হয়, ফলে প্রধানতঃ ভেগাস নার্ভ দিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্রে গিয়া তাহাকে উদ্দীপিত করিয়া ক্ষুধা নিবারণ করিতে পারে—অবশ্য ভেগাস ও সমবেদী (sympathetic) নার্ভগুলি কাটিয়া দিবার পরেও পাকস্থলীর স্ফীতির জন্য কিছুটা ক্ষুন্নিবৃত্তি হইতে দেখা যায় ; (*iii*) আহারের পরে গ্লুকোজ শোষিত হইয়া রক্তে তাহার মাত্রা বাড়িলে ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্রে অবস্থিত গ্লুকোস্ট্যাট (glucostat) কোষগুলি যথেষ্ট পরিমাণে গ্লুকোজ পাইয়া সক্রিয় হইয়া ওঠে, ফলে ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্র উদ্দীপিত হইয়া ক্ষুধাকেন্দ্রের ক্রিয়া নিবারণ করে ; (*iv*) প্রোটিনজাতীয় খাদ্যের শোষণের ফলে রক্তে অ্যামাইনো অ্যাসিডের পরিমাণ বাড়িলে ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্র উদ্দীপিত হইয়া ক্ষুধা নিবারণ করে ; (*v*) অত্যধিক গরমের সময়ে, অথবা আহারের পরে প্রোটিনের বিশেষ চল-ক্রিয়ার (specific dynamic action) ফলে দেহের তাপ বাড়িলে হাইপো-থ্যালামাসের তাপক্ষয় (heat loss) কেন্দ্র হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ আসিয়া সম্ভবতঃ ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্রকে উদ্দীপিত করে, ফলে সাময়িকভাবে ক্ষুধা লোপ পায়। সম্ভবতঃ মধুমেহ (diabetes mellitus) রোগে ইনসুলিনের অভাবে গ্লুকোস্ট্যাট কোষগুলি গ্লুকোজ ব্যবহার করিতে না পারায় নিষ্ক্রিয় হইয়া পড়ে, ফলে ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্রের ক্রিয়া বন্ধ হইয়া ক্ষুধাকেন্দ্রের ক্রিয়া অবিরত চলিতে থাকায় অত্যধিক ক্ষুধাবৃদ্ধি ঘটে।

অন্যদিকে (*i*) অনাহারে থাকিলে রক্তে গ্লুকোজের মাত্রা কমিয়া যায় এবং ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্রের গ্লুকোস্ট্যাট কোষগুলি উপযুক্ত পরিমাণে গ্লুকোজ না পাইয়া নিষ্ক্রিয় হইয়া পড়ে, ফলে ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্র আর ক্ষুধাকেন্দ্রের ক্রিয়া নিবারণ করিতে না পারায় ক্ষুধা পায় ; (*ii*) উপবাসকালে পাকস্থলীর শূন্যতা অথবা রক্তে গ্লুকোজের মাত্রাল্পতার জন্য পাকস্থলী তীব্রভাবে ও নিয়মিত ছন্দে সংকুচিত হইতে থাকিলে (ক্ষুধাজনিত সংকোচন, hunger contractions) সম্ভবতঃ পাকস্থলীগাত্র হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ মস্তিষ্কে গিয়া ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্রের ক্রিয়া নিবারণ করে ও ক্ষুধার উদ্রেক করে—অবশ্য কুকুর, ইঁদুর প্রভৃতি প্রাণীর পাকস্থলী অপসারণ করিলে বা সেখান হইতে আগত নার্ভগুলি নষ্ট করিয়া দিলেও ক্ষুধা স্বাভাবিক থাকে ; (*iii*) অত্যধিক শৈত্যে হাইপো-থ্যালামাসের তাপসংরক্ষণ কেন্দ্র (heat conservation centre) উদ্দীপিত হইয়া ক্ষুন্নিবৃত্তি কেন্দ্র ও ক্ষুধাকেন্দ্রকে প্রভাবিত করে, ফলে সে সময়ে ক্ষুধা বাড়ে ; (*iv*) ইহা ছাড়া ইদানীং চর্বিস্থিতি প্রকল্পনা (lipostatic hypothesis) নামক একটি প্রকল্পনায় প্রস্তাবিত হইয়াছে যে দেহের মেদকলায় (adipose tissue) সঞ্চিত চর্বির পরিমাণ বাড়িলে বা কমিলে উপরি-উক্ত

কেন্দ্রগুলি নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ বা কোনও হর্মোনের মাধ্যমে প্রভাবিত হইয়া ক্ষুধাকে কমাইতে বা বাড়াইতে পারে।

আহারোপযোগী অর্থাৎ উপযুক্ত স্বাদ, গন্ধ ও আকৃতির খাদ্য নির্বাচন ও তাহা গ্রহণের প্রবণতাকে **আহারেচ্ছা** (appetite) বলে। ইহা অনেক পরিমাণেই মস্তিষ্কের অ্যামিগ্‌ডালয়েড নিউক্লিয়াসের উপরে নির্ভর করে; তাহা ছাড়া লিম্বিক তন্ত্রের হিপ্‌পোক্যাম্পাল ও সিংগুলেট জাইরাস হাইপোথ্যালামাসের পূর্বোক্ত কেন্দ্রগুলির সহিত অ্যামিগ্‌ডালয়েড নিউক্লিয়াসের ক্রিয়ার সঙ্গতিসাধন করিয়া আহারোপযোগী খাদ্য সম্বন্ধে আহারেচ্ছাকে প্রভাবিত করে। অ্যামিগ্‌-ডালয়েড নিউক্লিয়াস, হিপ্‌পোক্যাম্পাল জাইরাস ও সিংগুলেট জাইরাসের ভিন্ন ভিন্ন অংশকে উদ্দীপিত করিলে চর্বণ, লেহন, গলাধঃকরণ প্রভৃতি আহার-সংশ্লিষ্ট ক্রিয়ার অনুরূপ পেশীসঞ্চালন ঘটিতে থাকে অথবা আহারের পরিমাণে লক্ষণীয় হ্রাসবৃদ্ধি ঘটে; আবার অ্যামিগ্‌ডালয়েড নিউক্লিয়াসের কোনও কোনও অংশে ক্ষত (lesion) হইলে আহারেচ্ছা ও আহারের পরিমাণ বর্ধিত হয় এবং খাদ্য ও অখাদ্য নির্বিচারে খাইবার প্রবণতা দেখা দেয়। আহারেচ্ছার সহিত দেহের প্রকৃত চাহিদার সম্পর্ক অনেক শিথিল—ক্ষুধা থাকিলেও খাদ্যের বিজাতীয় স্বাদ বা অবাঞ্ছিত গন্ধ অথবা অপ্রীতিকর পরিবেশ বা মানসিক অবস্থার জন্য আহারেচ্ছা লোপ পাইতে পারে, আবার ক্ষুন্নিবৃত্তির পরেও লোভনীয় খাদ্য সম্বন্ধে আহারেচ্ছা অব্যাহত থাকিতে পারে।

14.2 তৃষ্ণা

জল পানের সচেতন ইচ্ছা ও তজ্জনিত অনুভূতিকে তৃষ্ণা বলে। হাইপো-থ্যালামাসের পার্শ্বীয় (lateral) বা পৃষ্ঠ্য (dorsal) অংশে অবস্থিত **তৃষ্ণাকেন্দ্রের** (thirst centre) নার্ভকোষগুলি তৃষ্ণার অনুভূতি নিয়ন্ত্রণ করে। এই অংশে ইলেক্‌ট্রোড বসাইয়া তড়িৎ প্রয়োগ করিলে অথবা অ্যাসেটাইলকোলিন বা গাঢ় লবণজল ইন্‌জেক্‌শন দিলে ইঁদুর, বিড়াল, ছাগল প্রভৃতি প্রাণী অত্যধিক মাত্রায় জল পান করে, আবার অত্যন্ত তীব্র তড়িৎ প্রয়োগে ঐ অংশে ক্ষত উৎপন্ন করিলে তৃষ্ণা সম্পূর্ণ লোপ পায়।

তৃষ্ণাকেন্দ্র নানাভাবে উদ্দীপিত হইয়া তৃষ্ণার অনুভূতি জাগায়। (*i*) মূত্র, ঘর্ম, নিঃশ্বাস, পৌষ্টিক নালীর বিভিন্ন পাচকরস প্রভৃতির সহিত দেহ হইতে অবিরত জল বাহির হইয়া যায়, ইহার ফলে রক্তরসে (plasma) জলের পরিমাণ কমিয়া তাহার অভিস্রবণ-প্রেষ (osmotic pressure) বাড়িলে তৃষ্ণাকেন্দ্রের নার্ভকোষগুলি হইতে অভিস্রবণের দ্বারা জল বাহির হইয়া আসিতে থাকে এবং

নার্ভকোষগুলির আয়তন সামান্য হ্রাস পায় ; ফলে ঐ নার্ভকোষগুলি উদ্দীপিত হইয়া তৃষ্ণার উদ্রেক করে অর্থাৎ তৃষ্ণাকেন্দ্রের নার্ভকোষগুলি অভিস্রবণ-গ্রাহকের (osmoreceptors) মত কাজ করে। (*ii*) গাঢ় লবণজলের ইন্‌জেক্‌শন দিয়া কোষবহির্ভূত রসে (extracellular fluid) সোডিয়ামের গাঢ়তা ও তজ্জনিত অভিস্রবণ-প্রেষ বাড়াইয়া দিলে অথবা দেহ হইতে পটাসিয়ামের রেচন অস্বাভাবিক বৃদ্ধি পাইয়া কোষমধ্যে পটাসিয়ামের গাঢ়তা ও অভিস্রবণ-প্রেষ যথেষ্ট কমিয়া গেলে তৃষ্ণাকেন্দ্রের নার্ভকোষগুলি হইতে অভিস্রবণের মাধ্যমে জল বাহির হইয়া আসে, ফলে উহারা উদ্দীপিত হইয়া তৃষ্ণার অনুভূতি জাগায়। (*iii*) রক্তপাত বা অন্য কোনও কারণে কোষবহির্ভূত রসের আয়তন কমিলে বৃক্ক হইতে রেনিন (renin) নামক হর্মোনটি ক্ষরিত হয় এবং তাহার প্রভাবে রক্তরসে অ্যান্‌জিওটেন্‌সিন II (angiotensin II) নামক প্রোটিনের উৎপাদন বর্ধিত হয় ; শেষোক্ত প্রোটিনটির ক্রিয়ায় মস্তিষ্কের ডাইএন্‌কেফালনে (diencephalon) সাব-ফর্নিক্যাল অঙ্গ (sub-fornical organ) নামক অংশের নার্ভকোষগুলি উদ্দীপিত হয় এবং তাহারা তৃষ্ণাকেন্দ্রে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) পাঠাইয়া তাহাকে উদ্দীপিত করে। (*iv*) দেহে জলাভাব ঘটিলে লালাক্ষরণ কমিয়া মুখ, জিহ্বা, তালু ও গলবিল শুখাইয়া যায়, ফলে সম্ভবতঃ ঐ সকল স্থানের গ্রাহকগুলি (receptors) উদ্দীপিত হয় এবং সেগুলি হইতে আগত নার্ভীয় বিভবপ্রবাহের দ্বারা তৃষ্ণাকেন্দ্রের নার্ভকোষগুলি উদ্দীপিত হইতে পারে। (*v*) কোষবহির্ভূত রসের আয়তন কমিয়া রক্তচাপ হ্রাস পাইলে অ্যাওর্টিক ও ক্যারোটিড সাইনাসের চাপগ্রাহকগুলি (baroceptors) উদ্দীপিত হয় এবং নবম ও দশম করোটিক নার্ভ দিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ মস্তিষ্কে যায় ; ইহার ফলেও তৃষ্ণাকেন্দ্র উদ্দীপিত হইয়া তৃষ্ণার অনুভূতি জাগায়।

তৃষ্ণা প্রাণীকে উপযুক্ত পরিমাণে জল পানে প্রণোদিত করিয়া দেহে জলের অভাব পূরণ করিতে এবং কোষবহির্ভূত রসে সোডিয়ামের গাঢ়তা ও অভিস্রবণ-প্রেষকে কমাইয়া স্বাভাবিক করিতে সাহায্য করে। অবশ্য পৌষ্টিক নালী হইতে জল শোষিত হইয়া কোষবহির্ভূত রসের অভিস্রবণ-প্রেষকে কমাইবার বহু পূর্বেই এবং জল পানের প্রায় সঙ্গে সঙ্গেই তৃষ্ণার অনুভূতি দূর হইয়া যায়। সম্ভবতঃ জল পানের সময়ে মুখ, গলবিল প্রভৃতির বিভিন্ন গ্রাহক হইতে এবং পাকস্থলী জলে পূর্ণ হইলে তাহার গাত্রের টানগ্রাহকগুলি (stretch receptors) হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ মস্তিষ্কে গিয়া কিছুক্ষণের জন্য তৃষ্ণা দূর করে। ক্রমে শোষিত জল রক্তরসের অভিস্রবণ-প্রেষকে স্বাভাবিক করিলে আরো বেশিক্ষণের জন্য তৃষ্ণার পরিতৃপ্তি ঘটে।

পঞ্চদশ পরিচ্ছেদ

পৌষ্টিক নালীর হর্মোন

পৌষ্টিক নালীর গাত্র হইতে রক্তে ক্ষরিত কয়েকটি হর্মোন পৌষ্টিক নালী ও পিত্তাশয়ের অনৈচ্ছিক পেশীগুলির সংকোচন বা শৈথিল্য এবং অগ্ন্যাশয়, যকৃত ও পৌষ্টিক নালীর গ্রন্থিগুলির রসক্ষরণ উদ্দীপিত করে।

15.1 গ্যাস্‌ট্রিন

মানুষের পাইলোরিক শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে নিষ্কাশিত G-17 এবং G-34 নামক গ্যাস্‌ট্রিন-বর্গীয় হর্মোনদ্বয়ের অণু যথাক্রমে 17 ও 34টি অ্যামাইনো অ্যাসিড অণুর মিলনে গঠিত। ইহাদের প্রত্যেকটি আবার দুই আকারে থাকিতে পারে—গন্ধকযুক্ত (sulfated) গ্যাস্‌ট্রিন II অণু এবং গন্ধকবিহীন গ্যাস্‌ট্রিন I অণু। পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ উদ্দীপিত করিতে G-17-এর ভূমিকাই মুখ্য বলিয়া মনে হয়।

খাদ্যের পরিপাকজাত পেপ্‌টাইড, অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রভৃতি বস্তুর প্রত্যক্ষ সংস্পর্শে আসিলে পাইলোরিক প্রান্তের পাকস্থলী-গ্রন্থিগুলির গাত্রে অবস্থিত কলসাকার ও দানাদার জি (G) কোষগুলি উদ্দীপিত হইয়া গ্যাস্‌ট্রিন ক্ষরণ করে। তাহা ছাড়া খাদ্যজনিত স্ফীতির ফলে পাকস্থলীগাত্রে স্থানীয় প্রতিবর্তের (local reflex) সৃষ্টি হইলে অথবা ভেগাস নার্ভ দিয়া বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) আসিলে যথাক্রমে পাকস্থলীগাত্রের নার্ভজাল (nerve plexus) ও ভেগাস-প্রান্ত হইতে নিঃসৃত অ্যাসেটাইলকোলিন শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর কলারস দিয়া ব্যাপনের দ্বারা জি কোষে পৌঁছিয়া গ্যাসট্রিনের ক্ষরণ ঘটাইতে পারে। অন্যদিকে অত্যধিক হেক্সোজ বা ফ্যাট গ্রহণীতে (duodenum) প্রবেশ করিলে সেখান হইতে ক্ষরিত গ্যাস্‌ট্রিক ইন্‌হিবিটরি পেপ্‌টাইড রক্তের প্রবাহে পাইলোরিক প্রান্তে আসিয়া গ্যাস্‌ট্রিনের ক্ষরণ কমাইয়া দেয় (15.2 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য): তাহা ছাড়া পাকস্থলী হইতে আগত অ্যাসিডের সংস্পর্শেও পাইলোরিক প্রান্ত হইতে গ্যাস্‌ট্রিনের ক্ষরণ নিবারিত হয়—সম্ভবতঃ অ্যাসিডের সংস্পর্শে পাকস্থলী ও অন্ত্রের ডি (D) কোষ হইতে সোম্যাটোস্ট্যাটিন ক্ষরিত হয় এবং কলারস দিয়া ব্যাপনের মাধ্যমে জি কোষে পৌঁছিয়া গ্যাস্‌ট্রিনের ক্ষরণ কমাইয়া দেয় (15.6 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

আবার গ্রহণীতে খাদ্য আসিলে পেপ্‌টাইড, অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রভৃতির ক্রিয়ায় গ্রহণীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে এণ্টেরো-অক্সিণ্টিন (entero-oxyntin) বা এণ্টেরিক গ্যাস্‌ট্রিন (enteric gastrin) নামক কোনও হর্মোন রক্তে ক্ষরিত হয় এবং আন্ত্রিক দশার (intestinal phase) পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ উদ্দীপিত করে।

গ্যাস্‌ট্রিন-বর্গীয় হর্মোনগুলির প্রধান প্রধান ক্রিয়া নিম্নরূপ : (*i*) পাকস্থলীতে পৌঁছিয়া গ্যাস্‌ট্রিন তাহার গ্রন্থিগুলি হইতে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড, পেপ্‌সিন ও ক্যাস্‌ল্‌-বর্ণিত আভ্যন্তরীণ উপাদানের ক্ষরণ ঘটায়, পাকস্থলীর পেশী-গুলির টান (tone) ও সংকোচন বাড়াইয়া পাইলোরিক অংশে ক্রমসংকোচ (peristalsis) বর্ধিত করে, কিন্তু পাইলোরিক পেশীবলয়কে (sphincter) শিথিল করে। (*ii*) বৃহদন্ত্রে পৌঁছিয়া গ্যাস্‌ট্রিন সম্ভবতঃ মলাশয় ও মলনালীর পেশীসঞ্চালন বাড়াইয়া মলত্যাগের প্রবণতা জাগায়। (*iii*) গ্যাস্‌ট্রিনের প্রভাবে যকৃতের পিত্তে বাইকার্বনেটের ক্ষরণ বৃদ্ধি পায়। (*iv*) গ্যাস্‌ট্রিন অগ্ন্যাশয়ের কোষ্টক (acinus) ও কোষদ্বীপ (islet) হইতে যথাক্রমে এনজাইম ও হর্মোনের ক্ষরণ বাড়ায়।

15.2 গ্যাস্ট্রিক ইন্‌হিবিটরি পেপটাইড (GIP)

খাদ্যে শর্করা বা ফ্যাটের আধিক্য থাকিলে তাহার প্রভাবে গ্রহণী ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের (jejunum) শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে এই পেপ্‌টাইড হর্মোনটি রক্তে ক্ষরিত হয়। ইহা (*i*) গ্যাস্‌ট্রিনের ক্ষরণ কমায়, (*ii*) পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ ও পাকস্থলীর সঞ্চালন হ্রাস করে, (*iii*) অগ্ন্যাশয় হইতে ইনসুলিনের ক্ষরণ বাড়ায় এবং (*iv*) ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে আন্ত্রিক রসের ক্ষরণ উদ্দীপিত করে।

15.3 সিক্রিটিন

পাকস্থলী হইতে আগত অ্যাসিডের ক্রিয়ায় গ্রহণী ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের আন্ত্রিক গ্রন্থিগুলির গভীরে অবস্থিত কতকগুলি কোষ হইতে পেপ্‌টাইড-বর্গীয় সিক্রিটিন হর্মোনটি রক্তে ক্ষরিত হয়। 27টি অ্যামাইনো অ্যাসিড অণু দিয়া ইহার অণু গঠিত। (*i*) সিক্রিটিন পাইলোরিক প্রান্ত হইতে গ্যাস্‌ট্রিনের ক্ষরণ কমাইয়া পাকস্থলী-রসে অ্যাসিডের ক্ষরণ হ্রাস করে, পাকস্থলীর পেশীগুলির সংকোচন কমায় এবং পাইলোরিক পেশীবলয়কে সংকুচিত করে। (*ii*) ইহা অগ্ন্যাশয় হইতে জল ও বাইকার্বনেটের ক্ষরণ বাড়ায়, কিন্তু প্রত্যক্ষভাবে এনজাইমের ক্ষরণ বাড়ায় না। (*iii*) যকৃতের পিত্তে জল ও

বাইকার্বনেটের ক্ষরণ সিক্রিটিনের প্রভাবে বৃদ্ধি পায়, কিন্তু পিত্তলবণের (bile salts) ক্ষরণ প্রভাবিত হয় না। এসকল ক্রিয়ার মাধ্যমে সিক্রিটিন ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে ক্ষারধর্মিতা অব্যাহত রাখিতে সাহায্য করে।

15.4 কোলেসিস্টোকাইনিন-প্যানক্রিয়োজাইমিন (CCK-PZ)

এই পেপ্‌টাইড হর্মোনটির আণবিক গঠন দুই প্রকার—উহাদের অণু যথাক্রমে 33টি এবং 39টি অ্যামাইনো অ্যাসিড অণুর দ্বারা গঠিত। প্রোটিনের পরিপাকজাত প্রোটিওস, পেপ্‌টোন, পলিপেপ্‌টাইড ও অ্যামাইনো অ্যাসিড, ফ্যাট ও তাহার পরিপাকজাত সাবান, দীর্ঘাণু ফ্যাটি (চর্বিজাতীয়) অ্যাসিড প্রভৃতি ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রবেশ করিলে তাহাদের রাসায়নিক ক্রিয়ায় গ্রহণী ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর কোলেসিস্টোকাইনিন-ক্ষরণকারী কোষগুলি উদ্দীপিত হইয়া রক্তে উক্ত হর্মোনটি ক্ষরণ করে। ইহার প্রধান ক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ : (*i*) হর্মোনটি অগ্ন্যাশয়ের কোষ্ঠকগুলি (acini) হইতে অগ্ন্যাশয়-রসের এনজাইমগুলির ক্ষরণ উদ্দীপিত করে এবং অগ্ন্যাশয়-রসের উপরে সিক্রিটিনের প্রভাবকেও বাড়াইয়া দেয়। (*ii*) ইহা অগ্ন্যাশয়ের কোষদ্বীপগুলির (islets) অ্যালফা কোষ হইতে গ্লুকাগন হর্মোনের ক্ষরণ বাড়ায়। (*iii*) হর্মোনটি পিত্তাশয়ের (gall bladder) পেশীগুলিকে উদ্দীপিত করে, ফলে পিত্তাশয়ের সংকোচন ঘটিয়া সঞ্চিত পিত্ত ক্ষুদ্রান্ত্রে বাহির হয় ; সম্ভবতঃ হর্মোনটি ওডাই পেশীবলয়কে (sphincter of Oddi) শিথিল করিয়াও একার্যে সাহায্য করে। (*iv*) সম্ভবতঃ হর্মোনটি আন্ত্রিক রসে এণ্টেরোকাইনেজের ক্ষরণ বাড়ায়। (*v*) ইহা পাকস্থলী-রসে অ্যাসিডের ক্ষরণ কমাইতে এবং পাই-লোরিক পেশীবলয়কে সংকুচিত রাখিতে পারে। (*vi*) হর্মোনটি ক্ষুদ্রান্ত্রের ক্রমসংকোচ (peristalsis) বাড়াইতে পারে।

15.5 ভ্যাসোঅ্যাকটিভ ইণ্টেস্টিন্যাল পেপটাইড (VIP)

ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্র হইতে [illegible] ক্ষরিত এই হর্মোনটির অণু 28টি অ্যামাইনো অ্যাসিড অণুর মিলনে গঠিত। (*i*) হর্মোনটি বিভিন্ন প্রান্তীয় (peripheral) অঙ্গে রক্তবাহের প্রসারণ (dilatation) ঘটায়। (*ii*) ইহা পাকস্থলী-রসে অ্যাসিডের ক্ষরণ এবং পাকস্থলীর পেশীগুলির সঞ্চালন হ্রাস করে। (*iii*) হর্মোনটি অগ্ন্যাশয় ও ক্ষুদ্রান্ত্রের পাচকরসে বাইকার্বনেট প্রভৃতি কয়েকটি অজৈব আয়ন এবং জলের ক্ষরণ বর্ধিত করে।

15.6 সোম্যাটোস্ট্যাটিন

এই পেপ্‌টাইড-জাতীয় হর্মোনটি 14টি অ্যামাইনো অ্যাসিড অণুর মিলনে গঠিত। পাকস্থলী ও অন্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে অবস্থিত ডি (D) কোষগুলির দীর্ঘ বাহু হইতে ক্ষরিত হইয়া হর্মোনটি শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর কলারস দিয়া ব্যাপনের মাধ্যমে পাকস্থলীর পাইলোরিক প্রান্তের জি (G) কোষগুলিতে পৌঁছিয়া গ্যাস্ট্রিনের ক্ষরণ নিবারণ করে, ফলে পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ হ্রাস পায়। তাহা ছাড়া সোম্যাটোস্ট্যাটিন ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে মোটিলিনের ক্ষরণ নিবারণ করিয়া পৌষ্টিক নালীর পেশীগুলির সঞ্চালনও কমাইয়া দেয়। অগ্ন্যাশয়ের কোষদ্বীপ (islet) হইতেও সোম্যাটোস্ট্যাটিন ক্ষরিত হয় এবং তাহা ভ্যাসোঅ্যাক্টিভ ইন্টেস্টিন্যাল পেপ্‌টাইড এবং অগ্ন্যাশয়-রসের ক্ষরণ হ্রাস করে। হর্মোনটি হাইপোথ্যালামাস হইতেও রক্তে ক্ষরিত হয়।

15.7 মোটিলিন

উপবাসের সময়ে গ্রহণীর বিবর ক্ষারধর্মী হইয়া পড়িলে ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রথমার্ধের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী হইতে মোটিলিন রক্তে ক্ষরিত হয়। ইহা 22টি অ্যামাইনো অ্যাসিড অণুর মিলনে গঠিত। ইহার প্রভাবে পাকস্থলী ও ক্ষুদ্রান্ত্রের গাত্রে পেশীগুলির সংকোচন বৃদ্ধি পায়।

ষোড়শ পরিচ্ছেদ

অজৈব লবণ ও জলের বিপাক

দেহে সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম, লৌহ, তামা, দস্তা, কোবাল্ট, ম্যাংগানিজ, মলিবডেনাম, ফসফরাস, ক্লোরিন, গন্ধক, আয়োডিন প্রভৃতি উপাদান অল্পাধিক পরিমাণে জৈব ও অজৈব যৌগের আকারে বর্তমান। প্রত্যেক কোষের ভিতরে এবং কোষের চতুষ্পার্শ্বের রসে জল অন্যতম মুখ্য ও অপরিহার্য উপাদান।

16.1 জলের বিপাক

উৎস : প্রথমতঃ প্রত্যহ অন্ততঃ এক লিটার জল পানীয় জল অথবা চা, কফি, ঘোল, দুধ, শরবত প্রভৃতি পানীয়ের আকারে পান করা হয় ; নানা কোমল ও কঠিন খাদ্যবস্তু হইতেও প্রত্যহ অন্ততঃ এক লিটার জল পাওয়া যায়—মুরগির ডিম, পাকা আম এবং রান্না-করা কচি পাঁঠার মাংসে যথাক্রমে প্রায় 70%, 87% ও 70% জল থাকে। দ্বিতীয়তঃ কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট (স্নেহপদার্থ) ও প্রোটিনের বিপাকের ফলে দেহে দিনে প্রায় 300 মিলিলিটার জল উৎপন্ন হয় ; তন্মধ্যে ফ্যাটে অন্য খাদ্যবস্তুর তুলনায় হাইড্রোজেনের আপেক্ষিক পরিমাণ অধিক বলিয়া তাহার জারণেই সর্বাধিক জল পাওয়া যায়—প্রতি 100 গ্রাম কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট বা প্রোটিনের জারণের ফলে যথাক্রমে প্রায় 55, 107 ও 40 মিলিলিটার জল উৎপন্ন হয়। উপরি-উক্ত দুই সূত্রে দিনে সাধারণতঃ প্রায় 2.5 লিটার জল পাওয়া যায়। প্রসঙ্গতঃ, মরুভূমির ক্যাঙ্গারু-ইঁদুর নিজদেহের বিপাকজাত জলের দ্বারাই নিজের প্রয়োজন মিটায় এবং সাধারণতঃ তাহাকে জল পান করিতে হয় না। একই কারণে শীতকালে উটেরও জলপানের প্রয়োজন নাই।

প্রয়োজনীয় পরিমাণ : প্রত্যহ মূত্র, ঘর্ম, নিঃশ্বাস ও নানা ক্ষরিত রসের মাধ্যমে দেহ হইতে কিছু জল বাহির হইয়া যায়। এজন্য দিনে প্রায় 2.5 লিটার জল উপরি-উক্ত উৎসগুলি হইতে আহরণ করিতে হয়। তন্মধ্যে অন্ততঃ এক লিটার জল বিভিন্ন পানীয়ের আকারে পান করা আবশ্যক, কারণ অন্যান্য সূত্র হইতে 1.5 লিটারের অধিক জল পাওয়া কঠিন। মধুমেহ (diabetes mellitus) রোগে মূত্রে জলের পরিমাণ বাড়িলে অথবা

গ্রীষ্মকালে ঘর্মে বেশি জল বাহির হইয়া গেলে জল পানের প্রয়োজনীয়তা সেই অনুযায়ী বৃদ্ধি পায়।

দেহের কলায় জল : প্রত্যেক কোষের ভিতরে এবং চারিপার্শ্বের রসে জল বর্তমান। মানুষের দৈহিক ওজনের প্রায় 55-65% জল। প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষের দেহে প্রায় 40 লিটার জল থাকে। পুংদেহে নারীদেহের তুলনায় জলের অংশ অধিক ; শিশুর দেহে প্রায় 75-80% জল। প্রাণিদেহে জল প্রধানতঃ দুইভাবে ছড়াইয়া থাকে :

1. **কোষাভ্যন্তরীণ জল (intracellular water) :** মোট দৈহিক জলের প্রায় 55% (প্রায় 23 লিটার) কোষের ভিতরে থাকে।

2. **কোষবহির্ভূত জল (extracellular water) :** মোট দৈহিক জলের প্রায় 45% (প্রায় 18 লিটার) রক্তরস, লসিকা (lymph), কলারস (tissue fluid) প্রভৃতি কোষবহির্ভূত রসে বর্তমান। ইহার মধ্যে প্রাপ্তবয়স্কের দেহে রক্তরস, লসিকা-কলারস, অস্থি ও ঘন (dense) যোগকলায় (যথা কণ্ডরা ও তান্তব কলায়) যথাক্রমে প্রায় 3, 8, 3 এবং 3 লিটার জল কোষবহির্ভূত রস রূপে থাকে ; অবশিষ্ট প্রায় 1 লিটার কোষবহির্ভূত জল সেরিব্রোস্পাইন্যাল রস, প্লুরা ও পেরিকার্ডিয়ামের রস, বিভিন্ন গ্রন্থির কোষ্ঠকের (alveolus) বিবরে ও প্রণালীতে ক্ষরিত রস প্রভৃতি কোষনিঃসৃত (transcellular) রসের আকারে থাকে। শিরার রক্তে নির্দিষ্ট পরিমাণে ম্যানিটল, ইনিয়ুলিন, ইভ্যান্স্ ব্লু ও অন্যান্য রঞ্জক, নানাপ্রকার তেজস্ক্রিয় আয়ন-ঘটিত যৌগ প্রভৃতি ইন্‌জেকশন দিয়া এবং কিছুক্ষণ পরে দেহে তাহাদের গাঢ়তা নির্ণয় করিয়া বিভিন্ন প্রকার কোষবহির্ভূত রসের পরিমাণ মাপা হয়।

বিভিন্ন কলায় জলের পরিমাণে প্রভেদ আছে। অস্থি ও মেদকলার মাত্র 23-25% জল, কিন্তু পেশী ও মস্তিষ্কের প্রায় 75%, যকৃতের প্রায় 72% এবং ত্বকের প্রায় 70% জল।

জলক্ষয় (loss of water) : নাতিশীতোষ্ণ আবহাওয়ায় লঘু পরিশ্রমী মানুষের দেহ হইতে দিনে প্রায় 2.5 লিটার জল প্রধানতঃ চারটি ধারায় বাহির হইয়া যায়।

1. মূত্রে স্বাভাবিক অবস্থায় 24 ঘণ্টায় প্রায় 1.5 লিটার জল বাহির হইয়া যায়। তন্মধ্যে প্রায় 600 মিলিলিটার জল মুখ্যতঃ ইউরিয়া, অ্যামোনিয়া প্রভৃতি বিপাকজাত নাইট্রোজেন-ঘটিত বর্জ্য দ্রব্যের (waste products) রেচনের জন্য বাধ্যতামূলকভাবে মূত্রে বাহির হয় ; প্রোটিনপ্রধান খাদ্য খাইলে

অথবা ডায়াবিটিস মেলিটাস রোগে মূত্রে শর্করা বাহির হইতে থাকিলে এই বাধ্যতামূলক জলক্ষয়ের (obligatory loss of water) পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। মূত্রে অবশিষ্ট জলের পরিমাণ মুখ্যতঃ দেহে জলের সহজলভ্যতার উপরে নির্ভর করে—অতিরিক্ত পানীয় পান করিলে মূত্রে এই গুণগত (facultative) জলক্ষয়ের পরিমাণ বাড়ে, আবার কম জল পান করিলে অথবা অত্যধিক ঘাম, উদরাময় বা বমি হইয়া অন্যপথে জলের অপচয় বৃদ্ধি পাইলে মূত্রে জলের পরিমাণ কমে এবং কেবল বাধ্যতামূলক জলক্ষয় অব্যাহত থাকে। কেবল স্তন্যপায়ী ও পাখি মূত্রে জলের গুণগত ক্ষয়কে প্রয়োজনমত কমাইয়া রক্তরস অপেক্ষা গাঢ়তর মূত্র উৎপন্ন করিতে পারে। অবশ্য মানবদেহে মূত্রের আপেক্ষিক গুরুত্ব (specific gravity) 1.040 বা তাহার কম রাখিবার মত জল মূত্রে রেচন করা অপরিহার্য, কিন্তু মরুভূমির ক্যাঙ্গারু-ইঁদুর এবং উটের মূত্র মানুষের গাঢ়তম মূত্রের তুলনায় যথাক্রমে প্রায় 4 ও 2 গুণ গাঢ়তর।

2. মলের সহিত 24 ঘণ্টায় প্রায় 150 মিলিলিটার জল বাহির হইয়া যায়। ইহা প্রধানতঃ লালা, পিত্ত ও পৌষ্টিক নালীর গ্রন্থিগুলির রস হইতেই আসে। উদরাময় রোগে বা অন্য কোনও কারণে অন্ত্রের ক্রমসংকোচ (peristalsis) বাড়িয়া গেলে অথবা অন্ত্রের বিবরে ম্যাগনেসিয়াম সালফেট জাতীয় লবণের প্রভাবে অভিস্রবণ-প্রেষ (osmotic pressure) বৃদ্ধি পাইলে অন্ত্রে জলের শোষণ কমিয়া মলে জলের রেচন বৃদ্ধি পায়।

3. ফুসফুস হইতে 24 ঘণ্টায় প্রায় 400 মিলিলিটার জল বাষ্পের আকারে নিঃশ্বাসে বাহির হয়। পরিশ্রম, জ্বর বা অন্য কোনও কারণে শ্বাসপ্রশ্বাস বাড়িলে অথবা বায়ুর আর্দ্রতা কমিয়া গেলে ফুসফুস হইতে জলের বাষ্পীভবন ও রেচন বৃদ্ধি পায়। মুখ দিয়া শ্বসনের সময়ে লালা বাষ্প হইয়া এভাবে জলক্ষয়ের পরিমাণ আরও বাড়ে।

4. তাপমাত্রা যাহাই হউক না কেন, দিনে প্রায় 600 মিলিলিটার জল দেহীর অজ্ঞাতেই ব্যাপনের (diffusion) মাধ্যমে ত্বক হইতে অবিরত বাহিরে আসিয়া বাষ্পাকারে বাতাসে মিশিয়া যায়; ইহাকে অবিদিত স্বেদ (insensible perspiration) বলে। আবার উত্তাপ বাড়িলে দেহের ঘর্মগ্রন্থিগুলির ক্ষরণ বাড়িয়া ত্বকের উপর ঘর্ম (sweat) দেখা দেয় এবং ইহার কিয়দংশ ক্রমে বাষ্পে পরিণত হয়। দিনে প্রায় 14 লিটার পর্যন্ত জল ঘর্মে বাহির হইতে পারে। মানুষ, ঘোড়া ও গাধার যথেষ্ট ঘাম হয়। উটের ঘর্মক্ষরণ শুরু হইতে

মানুষের তুলনায় অধিকতর উষ্ণতার প্রয়োজন হয় বলিয়া এই পদ্ধতিতে উটের জলক্ষয় কম হয়। ক্যাঙ্গারু-ইঁদুরের ত্বকে ঘর্মগ্রন্থি না থাকায় ঘর্মের মাধ্যমে তাহার আদৌ জলক্ষয় ঘটে না।

জলসাম্য (water balance) : নানা সূত্র হইতে আহৃত জল এবং দেহ হইতে নানাপথে নির্গত জলের পরিমাণ সমান হইলে দেহে জলের পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে (**জলের সমস্থিতি,** water equilibrium)। বৃদ্ধির সময়ে ও গর্ভধারণ কালে দেহে বহু নূতন কোষ ও কলা গঠিত হইতে থাকিলে কোষের ভিতরে ও কোষবহির্ভূত রসে অনেক জল সঞ্চিত থাকে, ফলে আহৃত জলের তুলনায় দেহ হইতে নির্গত জলের পরিমাণ কমিয়া দেহে জলের পরিমাণ বাড়িতে থাকে (**ধনাত্মক জলসাম্য,** positive water balance)। আবার উদরাময়, অত্যধিক বমি বা ঘর্মক্ষরণ অথবা নিদারুণ জলাভাবে দেহে **ঋণাত্মক** (negative) জলসাম্য সৃষ্ট হয় অর্থাৎ জলক্ষয়ের তুলনায় আহৃত জলের পরিমাণ কম হওয়ায় দেহে জলের পরিমাণ কমিতে থাকে। উটের ঋণাত্মক জলসাম্য সহিবার ক্ষমতা খুব বেশি—মরুপথে ভ্রমণকালে জল কমিয়া দেহের ওজন 30% হ্রাস পাইলেও উট বাঁচিয়া থাকে।

জলের বিপাক নিয়ন্ত্রণ :

1. **হাইপোথ্যালামাস** : দেহে জলাভাব ঘটিয়া রক্তরসের অভিস্রবণ-প্রেষ (osmotic pressure) বাড়িলে তাহার প্রভাবে হাইপোথ্যালামাসের তৃষ্ণাকেন্দ্র (thirst centre) উদ্দীপিত হয় এবং তৃষ্ণার্ত প্রাণী জল পান করিয়া জলসাম্য অব্যাহত রাখিতে সচেষ্ট হয়। তাহা ছাড়া জলাভাবের জন্য রক্তরসের অভিস্রবণ-প্রেষ বাড়িলে হাইপোথ্যালামাসের সুপ্রা-অপটিক্ নার্ভকেন্দ্র উদ্দীপিত হয় এবং সেখান হইতে নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) পিটুইটারির পশ্চাৎখণ্ডে (posterior pituitary) পৌঁছিয়া ভ্যাসোপ্রেসিন (vasopressin) নামক মূত্রাধিক্যরোধক হর্মোনের ক্ষরণ উদ্দীপিত করে।

2. **পিটুইটারির পশ্চাৎখণ্ড** : দেহে জলাভাব ঘটিলে হাইপোথ্যালামাসের মাধ্যমে পিটুইটারির পশ্চাৎখণ্ড হইতে **ভ্যাসোপ্রেসিন** হর্মোনটি রক্তে ক্ষরিত হয় এবং বৃক্কে গ্লোমেরিউলাসের পরিস্রুত রস (glomerular filtrate) হইতে জলের শোষণ বাড়াইয়া দেহে জল সংরক্ষণ করে ও মূত্রকে গাঢ়তর করে ; এজন্য ভ্যাসোপ্রেসিনের অপর নাম মূত্রাধিক্যরোধক বা অ্যান্টিডাই-ইউরেটিক (antidiuretic) হর্মোন। হাইপোথ্যালামাসের সুপ্রা-অপটিক নার্ভ-

কেন্দ্র, পিটুইটারিগামী নার্ভপথ অথবা পিটুইটারির পশ্চাৎখণ্ডে ক্ষত (lesion) হইলে ভ্যাসোপ্রেসিনের ক্ষরণ ব্যাহত হইয়া মূত্রাধিক্য বা **ডায়াবিটিস্ ইন্সিপিডাস্** (diabetes insipidus) রোগ দেখা দেয় ; এই রোগে বৃক্কে জলের শোষণ কমিয়া মূত্রের পরিমাণ বাড়ে এবং তাহার গাঢ়তা হ্রাস পায়।

3. **অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্স :** জলাভাবের জন্য রক্তরসের গাঢ়তা বাড়িলে বা পরিমাণ কমিলে অ্যাড্রেন্যালের বাহ্যাংশ বা কর্টেক্স হইতে অ্যাল্ডোস্টেরোন (aldosterone) হর্মোনটি রক্তে ক্ষরিত হয় এবং মূত্রে সোডিয়াম আয়নের রেচন কমাইয়া পরোক্ষে জলের রেচনও হ্রাস করে।

4. **বৃক্ক :** বৃক্কের গ্লোমেরিউলাসগুলি হইতে দিনে প্রায় 14 লিটার জল পরিস্রুত হইয়া টিবিউলগুলিতে প্রবেশ করে। টিবিউল দিয়া আগাইবার সময়ে নিম্নলিখিত দুই পদ্ধতিতে ইহার অধিকাংশই শোষিত হইয়া যায় এবং অবশিষ্ট মাত্র প্রায় 1.5 লিটার জল মূত্রে বাহির হয়।

(a) বাধ্যতামূলক পুনঃশোষণ (obligatory reabsorption) : গ্লোমেরিউলাসের পরিস্রুত রস হইতে টিবিউলের প্রথম জটিলাংশে (proximal convoluted tubule) সোডিয়াম আয়ন, গ্লুকোজ প্রভৃতি নানা বস্তু সক্রিয়ভাবে (actively) শোষিত হয় ; টিবিউলের এই অংশের আবরক কলা জলের পক্ষে পারগম্য (permeable) বলিয়া ঐ বস্তুগুলির শোষণের সময়ে পরিস্রুত জলীয় অংশের প্রায় তিন-চতুর্থাংশ অভিস্রবণের (osmosis) প্রভাবে শোষিত হইয়া যায়। অবশ্য এভাবে শোষণের পরেও টিবিউলের বিবরে অভিস্রবণ-প্রেষ রক্তরসের মতই থাকিয়া যায়।

(b) গুণগত পুনঃশোষণ (facultative reabsorption) : টিবিউলের শেষ জটিলাংশ (distal convoluted tubule) এবং সংগ্রাহক প্রণালীগুলির (collecting tubules) গাত্র জলের পক্ষে পারগম্য নয়। কিন্তু দেহে জলাভাবের সময়ে ভ্যাসোপ্রেসিন ক্ষরিত হইলে তাহার প্রভাবে এসকল অংশের গাত্রও সাময়িকভাবে জলের পক্ষে পারগম্য হইয়া যায় ; ফলে টিবিউলের এই সকল অংশ দিয়া আগাইয়া যাইবার সময়ে পরিস্রুত রস হইতে যথেষ্ট পরিমাণে জল চারিপাশের গাঢ়তর কলারসের প্রভাবে অভিস্রবণের মাধ্যমে শোষিত হয়। ইহাতে মূত্রে জলের পরিমাণ আরও হ্রাস পায় এবং মূত্র রক্তরস হইতে গাঢ়তর হইয়া পড়ে।

5. **দ্রবীভূত বস্তু (solutes) :** দেহের বিভিন্ন রসে দ্রবীভূত সোডিয়াম, পটাসিয়াম প্রভৃতি অজৈব আয়ন এবং প্রোটিন ও অন্যান্য জৈব যৌগের

অভিস্রবণ-প্রেষ কোষবহির্ভূত এবং কোষাভ্যন্তরীণ রসে জলের সুসম বণ্টন অব্যাহত রাখে। রক্তরসের প্রোটিনগুলি রক্তবাহের গাত্র অতিক্রম করিয়া বাহির হইতে পারে না, সেজন্য তাহাদের অভিস্রবণ-প্রেষের প্রভাবে রক্ত হইতে জলের অতিরিক্ত পরিস্রাবণ (filtration) নিবারিত হইয়া রক্তরসে জল সংরক্ষিত হয়। কোষমধ্যে পটাসিয়াম আয়নের গাঢ়তা এবং কোষবহির্ভূত রসে সোডিয়াম আয়নের গাঢ়তা ঐ দুই স্থানের রসে উপযুক্ত ও সুসম পরিমাণে জল ধরিয়া রাখিতে সাহায্য করে। কোষবহির্ভূত রসে সোডিয়ামের আধিক্য বা স্বল্পতায় ঐ রসে জলের পরিমাণও যথাক্রমে বাড়ে ও কমে। বৃক্ক ও অন্ত্রে জলের শোষণ বহু পরিমাণেই শোষিত সোডিয়াম আয়নের অভিস্রবণ প্রেষের মাধ্যমেই পরিচালিত হয়।

জলহীনতা বা শুষ্কতা (dehydration) : উপযুক্ত পরিমাণে জল পান করিতে না পারায় দেহে জলাভাবজনিত শুষ্কতা ঘটিলে (বিশুদ্ধ জলাভাব, pure water depletion) কোষবহির্ভূত রসে অজৈব লবণের পরিমাণ পূর্বানুরূপ থাকায় ঐ রসগুলির গাঢ়তা ও অভিস্রবণ-প্রেষ অনেক বাড়িয়া যায়, ফলে কোষের ভিতর হইতে অনেকটা জল কোষবহির্ভূত রসে চলিয়া আসে এবং কোষাভ্যন্তরীণ রস গাঢ়তর হইয়া পড়ে। এই অবস্থায় রক্তরসে অজৈব লবণের গাঢ়তা ও রক্তরসের অভিস্রবণ-প্রেষ স্বাভাবিকের ঊর্ধ্বে থাকায় মূত্রের পরিমাণ হ্রাস পায় এবং গাঢ়তা বাড়ে। অন্যদিকে কলার প্রোটিন ভাঙ্গিয়া দেহে অধিকতর জল উৎপাদনের প্রয়াস চলিতে থাকায় দেহে নাইট্রোজেন-ঘটিত বর্জ্য দ্রব্যের (nitrogenous wasteproducts) উৎপাদন বৃদ্ধি পায় এবং সেগুলি মূত্রে সম্পূর্ণ রেচিত হইতে না পারায় রক্তরসে প্রোটিনেতর নাইট্রোজেনের (NPN or non-protein nitrogen) মাত্রাধিক্য ঘটে। কলার প্রোটিন ও লিপিডগুলি ভাঙ্গিতে থাকায় ত্বক, পেশী, নার্ভকলা প্রভৃতি ক্ষতিগ্রস্ত হয়। দেহের ওজন কমে। ত্বক শুষ্ক ও কুঞ্চিত হইয়া পড়ে। পেশী ও মনের অবসাদ, পেশীসঞ্চালনে সঙ্গতির অভাব, নার্ভতন্ত্রের অবদমন, মানসিক অনিশ্চয়তা এবং চিন্তার অসংলগ্নতা দেখা দেয়। জলের অভাবে লালা ও ঘর্মের ক্ষরণ লক্ষণীয়ভাবে কমিয়া যায় এবং তীব্র তৃষ্ণা অনুভূত হয়। মূত্রে বিপাকজাত বর্জ্য দ্রব্যের রেচন হ্রাস পাওয়ায় দেহে অম্লধর্মী বর্জ্য দ্রব্যের মাত্রাধিক্য ঘটে (অ্যাসিডোসিস্) এবং তাহার প্রভাবে বমনেচ্ছা (nausea) ও সংজ্ঞালোপ ঘটিতে পারে।

উদরাময়, অত্যধিক বমি, অতিরিক্ত ঘর্মক্ষরণ, ডায়াবিটিস-জনিত মূত্রাধিক্য, অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্সের নিষ্ক্রিয়তাজনিত অ্যাডিসন-বর্ণিত রোগ প্রভৃতি নানা

অবস্থায় অত্যধিক জল ও লবণ দেহ হইতে বাহির হইয়া যায় ; এসকল অবস্থায় অজৈব লবণেরও অভাব পূরণের চেষ্টা না করিয়া কেবল জল পান করিলে দেহের কলায় লবণাভাবজনিত (salt depletion) জলহীনতার সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে কোষবহির্ভূত রসে সোডিয়াম ও ক্লোরাইড আয়নের গাঢ়তা ও তাহাদের অভিস্রবণ-প্রেষ হ্রাস পায় ; ফলে কোষবহির্ভূত রস হইতে কিছুটা জল অভিস্রবণের দ্বারা কোষমধ্যে প্রবেশ করিয়া কোষাভ্যন্তরীণ রসের গাঢ়তা কমায় ও কোষগুলির রসস্ফীতি (intracellular edema) ঘটায়, রক্তরসের পরিমাণ কমিয়া রক্তচাপ হ্রাস পায় এবং তাহার ফলে রক্তসংবহনে ও মূত্রক্ষরণে গুরুতর ব্যাঘাত জন্মায়। শেষোক্ত কারণে রক্তে প্রোটিনেতর নাইট্রোজেনের (NPN) মাত্রা বাড়িতে এবং অ্যাসিডোসিস্ ঘটিয়া চেতনা লোপ পাইতে পারে।

সমুদ্রজল বা অন্য কোনও গাঢ় লবণজল পান করিলে ঐ জলের অতিরিক্ত লবণের জন্য কোষবহির্ভূত রস যথেষ্ট গাঢ়তর হইয়া পড়ায় কোষ হইতে জল বাহির হইয়া আসিয়া কোষবহির্ভূত রসের পরিমাণকে স্বাভাবিকের ঊর্ধ্বে লইয়া যায় ; কোষাভ্যন্তরীণ রস পরিমাণে কমে এবং গাঢ়তর হইয়া পড়ে। সমুদ্রজলের ম্যাগনেসিয়াম লবণের প্রভাবে পৌষ্টিক নালী দিয়াও অতিরিক্ত জল বাহির হইয়া যাইতে থাকে। তীব্র বমনেচ্ছাও দেখা দেয়।

দেহের জল 20% কমিয়া গেলে কোষগুলির ক্ষতি, রক্তসংবহনের ব্যর্থতা, অ্যাসিডোসিস, রক্তে প্রোটিনেতর নাইট্রোজেনের আধিক্য ও নার্ভতন্ত্রের অবদমনের ফলে মৃত্যু ঘটে।

16.2 সোডিয়াম, পটাসিয়াম ও ক্লোরিনের বিপাক

উৎস : সোডিয়াম ও ক্লোরিন : আহার্য লবণ, লবণাক্ত মাছমাংস, মাখন, পনির, আচার প্রভৃতি খাদ্য। পটাসিয়াম : আখের গুড়, খেজুর, পালংশাক, মটর, গাজর, বাঁধাকপি, ফুলকপি, লেবু প্রভৃতি উদ্ভিজ্জ খাদ্য এবং অশোধিত আহার্য লবণ।

প্রয়োজনীয় পরিমাণ : দিনে প্রায় 5-7 গ্রাম সোডিয়াম ক্লোরাইড এবং প্রায় 3-4 গ্রাম পটাসিয়াম।

কলায় অবস্থিতি : কোষবহির্ভূত (extracellular) রসে সোডিয়াম ও ক্লোরাইড যথাক্রমে মুখ্য ধনাত্মক (cation) ও ঋণাত্মক (anion) আয়ন ; কোষমধ্যে পটাসিয়াম মুখ্য ধনাত্মক আয়ন। কোষমধ্যে পটাসিয়াম অপেক্ষা সোডিয়ামের এবং কোষবহির্ভূত রসে সাধারণতঃ সোডিয়াম অপেক্ষা পটাসিয়ামের পরিমাণ কম ; দৃষ্টান্তস্বরূপ, লোহিত রক্তকণিকায় সোডিয়াম ও

পটাসিয়ামের পরিমাণ প্রতি 100 গ্রামে যথাক্রমে 40-50 ও 320-340 মিলিগ্রাম, কিন্তু রক্তরসে উহাদের পরিমাণ প্রতি 100 মিলিলিটারে যথাক্রমে 320-340 ও 17-22 মিলিগ্রাম। কোষমধ্যে পটাসিয়ামের গাঢ়তা (concentration) কোষবহির্ভূত রসে উহার গাঢ়তার প্রায় 20 গুণ এবং প্রাপ্তবয়স্ক মানবদেহে পটাসিয়ামের মোট পরিমাণ গড়ে প্রায় 120 গ্রাম। সোডিয়াম ও ক্লোরাইড আয়নের গাঢ়তা কোষের তুলনায় কোষবহির্ভূত রসেই অধিকতর এবং প্রাপ্তবয়স্ক মানবদেহে ইহাদের গড় মোট পরিমাণ যথাক্রমে প্রায় 90 ও 75 গ্রাম (সারণী 16.1 দ্রষ্টব্য)।

সারণী 16.1. কয়েকটি রস ও কলার প্রতি 100 গ্রাম বা 100 মিলিলিটারে সোডিয়াম, পটাসিয়াম ও ক্লোরিনের পরিমাণ (মিলিগ্রামে)।

রস বা কলা	সোডিয়াম	পটাসিয়াম	ক্লোরাইড
রক্ত	160-170	180-210	250-300
রক্তরস	320-340	17-22	330-350
সেরিব্রোস্পাইন্যাল রস	340-355	14-16	420-440
লসিকা	315-360	15-20	330-430
পেশী	80-120	250-350	45-50
নার্ভকলা	300-310	500-535	160-175
ঘর্ম	30-300	20-120	50-300
লালা	70-230	35-80	140-250
অশ্রু	320-340	14-20	120-135

সারণীটি নিম্নলিখিত গ্রন্থ হইতে অনূদিত ও উদ্ধৃত : Debajyoti Das, *Biochemistry*, 2nd ed., 1980, Academic Publishers, Calcutta : New Delhi.

ক্রিয়া :

1. বিভিন্ন কোষবহির্ভূত রসে (extracellular fluids) সোডিয়াম (Na^+) ও ক্লোরাইড (Cl') যথাক্রমে প্রধান ধনাত্মক ও প্রধান ঋণাত্মক আয়ন ; পটাসিয়াম (K^+) কোষাভ্যন্তরে প্রধান ধনাত্মক আয়ন।

2. রক্ত ও অন্যান্য কোষবহির্ভূত রসে সোডিয়ামের বাইকার্বনেট, ডাইহাইড্রোজেন ফসফেট ও মোনোহাইড্রোজেন ফসফেট এবং সোডিয়াম-প্রোটিন যৌগগুলি ক্ষার ও অম্লের সাম্য (acid-base balance) রক্ষায় সাহায্য করে ; পটাসিয়ামের অনুরূপ যৌগগুলি কোষের ভিতরে ক্ষার ও অম্লের সাম্য রক্ষায় সহায়তা করে।

3. রক্তরসের সিরাম গ্লোবিউলিন জাতীয় প্রোটিনগুলি সোডিয়াম ও পটাসিয়ামের ক্লোরাইড লবণগুলির ক্রিয়ায় রক্তরসে দ্রবীভূত এবং জলযুক্ত (hydrated) হইয়া থাকে।

4. রক্তরসে ও অন্যান্য কোষবহির্ভূত রসে এবং কোষমধ্যে প্রধানতঃ সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ক্লোরাইড প্রভৃতি আয়নের জন্য স্বাভাবিক অভিস্রবণ-প্রেষ (osmotic pressure) অব্যাহত থাকে ; ফলে কোষের ভিতরে ও বাহিরে জলের অনুপাত ও পরিমাণ স্বাভাবিক থাকে।

5. রক্তরসের সোডিয়াম আয়নের অভিস্রবণ-প্রেষ রক্তরসে জল ধরিয়া রাখিতে সাহায্য করে ; তাহা ছাড়া সোডিয়াম ও ক্লোরাইড আয়নগুলি রক্তরসের প্রোটিনগুলিকে জলযুক্ত করিয়া রাখে। ফলে যথাক্রমে রক্তরসের আয়তন ও সান্দ্রতা বাড়িয়া রক্তচাপ প্রভাবিত হয়। রক্তচাপবৃদ্ধি রোগে লবণ (সোডিয়াম ক্লোরাইড) কম খাইলে সুফল পাওয়া যায়।

6. সোডিয়াম আয়ন অন্ত্র হইতে গ্লুকোজের সক্রিয় শোষণে সাহায্য করে (12.6 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

7. রক্তরসের ক্লোরাইড আয়নই পাকস্থলীর প্যারায়েটাল কোষ কর্তৃক হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের ক্লোরাইড আয়নরূপে ক্ষরিত হয় (6.6 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

8. রক্তরসের সোডিয়াম আয়ন এবং লোহিত রক্তকণিকার পটাসিয়াম আয়ন কার্বন ডাই-অক্সাইড হইতে যথাক্রমে সোডিয়াম ও পটাসিয়ামের বাইকার্বনেট উৎপাদন করিয়া রক্তে কার্বন ডাই-অক্সাইড পরিবহনে সহায়তা করে। লোহিত রক্তকণিকার ভিতরে উৎপন্ন বাইকার্বনেটের কিয়দংশ রক্তরসে বাহির হইয়া আসে এবং তাহার পরিবর্তে কিছু ক্লোরাইড আয়ন রক্তরস হইতে লোহিত রক্তকণিকায় প্রবেশ করে (ক্লোরাইড স্থানান্তরণ, chloride shift phenomenon) ; ফুসফুসে রক্ত হইতে কার্বন ডাই-অক্সাইড বাহির হইয়া যাইবার সময়ে ঐ ক্লোরাইড আয়ন আবার লোহিত কণিকা হইতে রক্তরসে ফিরিয়া আসে।

9. নার্ভ ও পেশীর উদ্দীপনশক্তি (excitability) সোডিয়াম ও পটাসিয়াম আয়নের প্রভাবে বর্ধিত এবং ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেসিয়াম আয়নের প্রভাবে প্রশমিত হয়। পেশীতে পটাসিয়াম খুব কমিয়া গেলে পক্ষাঘাত ঘটিতে পারে।

10. পটাসিয়াম আয়ন দেহে সোডিয়াম পাম্পের সহিত যুক্ত এটিপেজ, প্রোটিন সংশ্লেষণের জন্য অপরিহার্য পেপ্‌টাইডিল ট্রান্সফেরেজ, গ্লাইকোলিসিস্

পথের ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ ও পাইরুভেট কাইনেজ প্রভৃতি এনজাইমের ক্রিয়ার জন্য এবং ক্লোরাইড আয়ন পাচনতন্ত্রের অ্যামাইলেজগুলির ক্রিয়ার জন্য প্রয়োজন।

11. কোষবহির্ভূত রসের সোডিয়াম ও পটাসিয়াম আয়ন হৃৎপেশীর (cardiac muscle) স্বাভাবিক ক্রিয়ার জন্য অপরিহার্য। পটাসিয়াম হৃৎপেশীর শৈথিল্য (relaxation) ও হৃৎপিণ্ডের শ্লথন (diastole) ঘটায়। রক্তরসে পটাসিয়ামের আধিক্যে হৃৎপেশীর সংকোচনশক্তি হ্রাস পায়, প্রথমে অলিন্দ (atrium), পরে অলিন্দ-নিলয় পর্ব (atrioventricular node) ও শেষে নিলয়ের (ventricle) উদ্দীপনা রুদ্ধ হয়, হৃৎস্পন্দনের শক্তি ও গতি কমিয়া আসে এবং হৃৎপিণ্ড শিথিল অবস্থায় থামিয়া যাইতে পারে। রক্তরসে পটাসিয়ামের মাত্রাল্পতা ঘটিলে হৃৎপিণ্ড সংকুচিত অবস্থায় থামিয়া যাইতে পারে। হৃৎপেশীতন্তুর ভিতরে ও বাহিরে যথাক্রমে পটাসিয়াম ও সোডিয়াম আয়নের সাম্যের উপরে হৃৎস্পন্দনের স্বাভাবিকতা নির্ভর করে। হৃৎপেশীর উপরে ক্যালসিয়াম ও পটাসিয়ামের ক্রিয়া পরস্পরবিরোধী।

12. সকল কলাতেই কোষঝিল্লীর বাহিরে সোডিয়াম আয়ন ও ভিতরে পটাসিয়াম আয়নের গাঢ়তা অধিক ; কারণ যদিও ব্যাপনের (diffusion) দ্বারা অবিরত কোষবহির্ভূত রস হইতে সোডিয়াম আয়ন কোষঝিল্লী অতিক্রম করিয়া কোষে প্রবেশ করে এবং অনুরূপভাবে কোষ হইতে অবিরত পটাসিয়াম আয়ন বাহির হইয়া যায়, তবু **সোডিয়াম পাম্প** নামক সক্রিয় পদ্ধতির মাধ্যমে অবিরত সোডিয়াম আয়নকে কোষঝিল্লীর মধ্য দিয়া কোষ হইতে বাহিরে লইয়া যাওয়া হয় এবং তাহার পরিবর্তে পটাসিয়াম আয়নকে কোষের মধ্যে লইয়া আসা হয়। সোডিয়াম পাম্প নামক সক্রিয় পদ্ধতিটির জন্য কোষকে শক্তিব্যয় করিতে হয়—সোডিয়াম পাম্প পদ্ধতির সহিত সংশ্লিষ্ট **সোডিয়াম-পটাসিয়াম-নির্ভর এটিপেজ** (Na^+-K^+-dependent ATPase) নামক এনজাইমের দ্বারা এটিপি (ATP) অণুকে এডিপি (ADP) ও অজৈব ফসফেটে পরিণত করিয়া এই শক্তি উৎপাদন করা হয়। কোষঝিল্লীর বাহিরে সোডিয়াম আয়নের গাঢ়তা কোষের ভিতরে উহার গাঢ়তা অপেক্ষা অধিক থাকিলেও সোডিয়াম পাম্পের দ্বারা সক্রিয় পদ্ধতিতে সোডিয়াম আয়নকে কোষঝিল্লী দিয়া বাহির করিয়া দেওয়া যায় ; সোডিয়াম পাম্পের দ্বারা এভাবে তিনটি সোডিয়াম আয়নকে কোষঝিল্লী অতিক্রম করিয়া বাহির করিয়া দিবার সময়ে তাহার পরিবর্তে দুইটি পটাসিয়াম আয়ন কোষবহির্ভূত রস হইতে কোষমধ্যে বাহিত হয়। এভাবে সোডিয়াম পাম্পের ক্রিয়ায় সক্রিয়ভাবে কোষঝিল্লীর বাহিরে ও ভিতরে যথাক্রমে সোডিয়াম

ও পটাসিয়ামের গাঢ়তা বৃদ্ধির পাশাপাশি অল্প কিছু পটাসিয়াম আয়ন ব্যাপনের দ্বারা কোষঝিল্লী অতিক্রম করিয়া বাহিরে যায় ; কিন্তু কোষের মুখ্য ঋণাত্মক আয়ন অর্থাৎ প্রোটিন আয়নগুলি তাহাদের বৃহৎ অণুর জন্য শেষোক্ত ব্যাপনরত ধনাত্মক পটাসিয়াম আয়নের সহিত কোষের বাহিরে আসিতে পারে না। ফলে কোষঝিল্লীর বহিঃপৃষ্ঠে ধনাত্মক আয়ন ও ভিতরপৃষ্ঠে ঋণাত্মক আয়নের কিছু আধিক্য ঘটে অর্থাৎ কোষঝিল্লীর স্বাভাবিক বৈদ্যুতিক ছদন (polarization) রক্ষিত হয়।

13. নার্ভতন্তু উদ্দীপিত হইলে উদ্দীপিত অংশের কোষঝিল্লী অতিক্রম করিয়া সোডিয়াম আয়নের পারগম্যতা (permeability) বহুগুণে বৃদ্ধি পায়। ফলে কোষঝিল্লী দিয়া ব্যাপনের মাধ্যমে কিছু সোডিয়াম আয়ন কোষমধ্যে প্রবেশ করে এবং নার্ভতন্তুর উক্ত অংশের ঝিল্লীর বিছদন (depolarization) ঘটে। উক্ত উদ্দীপিত অংশ হইতে শুরু করিয়া ক্রমশঃ এই ঘটনার পুনরাবৃত্তির মাধ্যমে নার্ভতন্তুর অন্যান্য অংশের ঝিল্লীর বিছদন ঘটিতে থাকে ; অর্থাৎ বিছদনের একটি তরঙ্গ নার্ভীয় তড়িৎবিভবের তরঙ্গ বা বিভবপ্রবাহের (nerve impulse) আকারে নার্ভতন্তু বাহিয়া আগাইয়া চলে। এভাবে সোডিয়াম আয়ন নার্ভতন্তু দিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহের পরিবহনে সাহায্য করে।

14. নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ নার্ভতন্তুর অ্যাক্সন-প্রান্তে অবস্থিত প্রান্ত-সন্নিকর্ষ (synapse) বা চেষ্টীয় প্রান্তফলকে (motor end-plate) পৌঁছিলে পরবর্তী নার্ভতন্তু বা পেশীতন্তুর ঝিল্লীর পারগম্যতা (permeability) সাময়িক বৃদ্ধি পায়। ফলে উক্ত ঝিল্লী অতিক্রম করিয়া ব্যাপনের দ্বারা কিছু সোডিয়াম আয়ন পরবর্তী তন্তুটির মধ্যে প্রবেশ করে এবং উহার ঝিল্লীটির বিছদন ঘটিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ ঐ পরবর্তী তন্তুটিতে প্রবাহিত হয়।

শোষণ ও পরিণাম :

সোডিয়াম আয়ন ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে সক্রিয় পদ্ধতিতে শোষিত হয়। ক্ষুদ্রান্ত্রের বুরুশপ্রান্ত কোষগুলির পার্শ্বীয় (lateral) কোষঝিল্লীতে অবস্থিত সোডিয়াম পাম্প নামক সক্রিয় ও এটিপি-নির্ভর বহনপদ্ধতির মাধ্যমে সোডিয়াম আয়ন কোষঝিল্লীর উক্ত অংশ অতিক্রম করিয়া কোষবহির্ভূত রসে বাহিত হয়, ফলে ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের বুরুশপ্রান্ত আবরক কোষের মধ্যে সোডিয়ামের গাঢ়তা ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে উহার গাঢ়তা অপেক্ষা কম থাকে এবং তাহার ফলস্বরূপ ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে ব্যাপনের মাধ্যমে সোডিয়াম আয়ন উক্ত কোষগুলির মুক্ত প্রান্তের কোষ-ঝিল্লী অতিক্রম করিয়া ভিতরে প্রবেশ করে। এভাবে শোষিত হওয়ার সময়ে

সোডিয়াম আয়ন ও গ্লুকোজ, উভয়েই কোষঝিল্লীর বিশেষ এক বাহক (carrier) প্রোটিনের অণুর সহিত যুক্ত হইয়া একত্রে উক্ত ঝিল্লী অতিক্রম করে। ধনাত্মক সোডিয়াম আয়নের এরূপ সক্রিয় শোষণের সময়ে তাহার আকর্ষণে ঋণাত্মক ক্লোরাইড আয়ন ব্যাপনের দ্বারা ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে বুরুশপ্রান্ত কোষের কোষঝিল্লী অতিক্রম করিয়া শোষিত হয়।

বৃক্কের গ্লোমেরিউলাসে পরিস্রাবণের ফলে রক্তরস হইতে সোডিয়াম, পটাসিয়াম ও ক্লোরাইড আয়ন গ্লোমেরিউলাসের পরিস্রুত রসে (glomerular filtrate) প্রবেশ করে। টিবিউল দিয়া প্রবাহিত হওয়ার সময়ে এই পরিস্রুত রসের প্রায় 95% সোডিয়াম আয়নকে টিবিউলের প্রথম ও শেষ জটিলাংশ, হেন্‌লে-বর্ণিত লুপের আরোহী (ascending) বাহু এবং সংগ্রাহক প্রণালীর (collecting duct) আবরক কোষগুলি সক্রিয়ভাবে এবং ক্ষুদ্রান্ত্রকোষের অনুরূপ সোডিয়াম পাম্প পদ্ধতির সাহায্যে আবার শোষণ করিয়া লয়; ফলে পরিস্রুত রসের মাত্র প্রায় 5% সোডিয়াম মূত্রে বাহির হয়—24 ঘণ্টার মূত্রে ইহার পরিমাণ 3-5 গ্রাম। হেন্‌লে-বর্ণিত লুপের অবরোহী (descending) বাহুর কোষগুলিতে সোডিয়াম পাম্প অথবা সক্রিয়ভাবে সোডিয়াম শোষণের ব্যবস্থা নাই। মূত্র ব্যতীত লালা, ঘর্ম, পৌষ্টিক নালীর গ্রন্থিগুলির রস এবং অশ্রুর সহিত কিছু সোডিয়াম আয়ন বাহির হইয়া যায়; তবে এসকল রস হইতেও কিছু সোডিয়াম আয়ন সক্রিয়ভাবে এবং সম্ভবতঃ সোডিয়াম পাম্প পদ্ধতিতে আবার শোষিত হইয়া রক্তে ফিরিয়া যায়। অত্যধিক ঘর্মক্ষরণের সময়ে ঘামে সোডিয়াম ক্লোরাইডের গাঢ়তা কিছুটা হ্রাস পায়।

24 ঘণ্টার মূত্রে যথাক্রমে প্রায় 2 ও 8 গ্রাম পটাসিয়াম ও ক্লোরাইড রেচিত হয়; তাহা ছাড়া লালা, অশ্রু, ঘর্ম ও পৌষ্টিক নালীর রসগুলিতেও এই দুই আয়ন বাহির হয়। গ্লোমেরিউলাসের পরিস্রুত রস হইতে অধিকাংশ ক্লোরাইড আয়ন টিবিউলগুলিতে সোডিয়াম আয়নের সক্রিয় শোষণের সময়ে তাহার বিপরীত আধানজনিত আকর্ষণে ব্যাপনের মাধ্যমে শোষিত হয়; অবশিষ্টাংশ মূত্রে বাহির হয়। উক্ত পরিস্রুত রসের অধিকাংশ পটাসিয়াম আয়ন টিবিউলের প্রথম জটিলাংশেই শোষিত হইয়া যায়, কিন্তু টিবিউলের শেষ জটিলাংশে সোডিয়াম পাম্পের সাহায্যে সোডিয়াম শোষণের সময়ে তাহার বিনিময়ে কিছু পটাসিয়াম আয়ন আবার মূত্রে ক্ষরিত হয়।

পেঙ্গুইন, সী-গাল প্রভৃতি সামুদ্রিক পাখির নাকে এবং সামুদ্রিক কাছিম ও কুমিরের চোখের কাছে অবস্থিত লবণগ্রন্থিগুলি (salt glands) হইতে গাঢ়

লবণদ্রবণের আকারে যথেষ্ট সোডিয়াম ও ক্লোরাইড আয়ন দেহ হইতে রেচিত (excreted) হয়।

নিয়ন্ত্রণ :

1. অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্স হইতে ক্ষরিত মিনারাল্যালোকর্টিকয়েড শ্রেণীর **অ্যাল্‌ডোস্টেরোন** হর্মোনটি মূত্র, লালা, ঘর্ম ও পৌষ্টিক নালীর রসগুলি হইতে সোডিয়ামের সক্রিয় শোষণ বাড়াইয়া ঐ সকল রসে সোডিয়ামের পরিমাণ কমায় এবং সেই সঙ্গেই ঐ রসগুলিতে পটাসিয়ামের রেচন বাড়ায়। সোডিয়ামের শোষণের সময়ে পরোক্ষে ক্লোরাইডও শোষিত হয় বলিয়া অ্যাল্‌ডোস্টেরোন উহারও রেচন হ্রাস করে। এভাবে দেহে সোডিয়াম ধরিয়া রাখিয়া এবং অতিরিক্ত পটাসিয়াম বাহির করিয়া দিয়া হর্মোনটি কোষ ও কোষবহির্ভূত রসে সোডিয়াম ও পটাসিয়ামের সাম্য রক্ষা করে। অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্সের ক্রিয়া ব্যাহত হইয়া **অ্যাডিসন-বর্ণিত রোগ** হইলে অ্যাল্‌ডোস্টেরোনের অভাববশতঃ রক্তরসে সোডিয়াম কমে ও পটাসিয়াম বাড়ে, মূত্রে সোডিয়াম বাড়ে ও পটাসিয়াম কমে এবং দেহে সোডিয়াম-পটাসিয়ামের ভারসাম্য ব্যাহত হইয়া নানা রোগলক্ষণ দেখা দেয় : অ্যাল্‌ডোস্টেরোন প্রয়োগ করিলে অথবা খাদ্যে অধিক সোডিয়াম ও অল্প পটাসিয়াম গ্রহণের ব্যবস্থা করিলে অবস্থার উন্নতি ঘটে। অন্যদিকে **প্রাইমারি অ্যাল্‌ডোস্টেরোনিজ্‌ম্‌** নামক রোগে অত্যধিক অ্যাল্‌ডোস্টেরোন ক্ষরণের ফলে রক্ত ও অন্যান্য কোষবহির্ভূত রসে সোডিয়ামের পরিমাণ বাড়ে এবং মূত্রে উহার পরিমাণ কমে ; কিন্তু মূত্রে অত্যধিক পটাসিয়াম বাহির হইতে থাকায় রক্তে উহার মাত্রাল্পতা ঘটে। রক্তরসে সোডিয়ামের গাঢ়তা কমিলে অ্যাল্‌ডোস্টেরোনের ক্ষরণ বাড়ে ; তাহার প্রভাবে মূত্রে সোডিয়ামের রেচন কমিয়া দেহে সোডিয়াম সংরক্ষিত হয়। গ্রীষ্মের উত্তাপেও অ্যাল্‌ডোস্টেরোনের ক্ষরণ বাড়ে, ফলে অত্যধিক ঘর্মক্ষরণের সময়ে ঘর্মে সোডিয়াম ও ক্লোরাইডের পরিমাণ কিছুটা কমাইয়া তাহাদের অতিরিক্ত অপচয় নিবারণের চেষ্টা চলিতে থাকে।

2. বৃক্কের **রেনিন** (renin) নামক হর্মোনের প্রভাবে রক্তরসের প্রোটিন হইতে **অ্যান্‌জিওটেন্‌সিন** II (angiotensin II) নামক যে পেপ্‌টাইডটি উৎপন্ন হয়, তাহা অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্স হইতে অ্যাল্‌ডোস্টেরোনের ক্ষরণ বাড়াইয়া দেহে সোডিয়াম সংরক্ষণ করিতে ও মূত্রে সোডিয়ামের পরিমাণ কমাইতে সাহায্য করে।

16.3 ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের বিপাক

উৎস : ক্যালসিয়াম : দুধ, আইসক্রিম, পনির, ডাল, গাজর, লেটুস, সয়াবিন, কচু শাক, ডিমের কুসুম, আখের গুড়, পানের চুন, খর (hard) জল। ফসফরাস : মাছমাংস, ডিম, দুধ, পনির, গম, চীনাবাদাম, সয়াবিন।

প্রয়োজনীয় পরিমাণ : নিম্নলিখিত পরিমাণে ক্যালসিয়াম এবং প্রায় সমপরিমাণ ফসফরাস দৈনিক খাদ্যে থাকা উচিত : প্রাপ্তবয়স্ক স্ত্রী-পুরুষ : 0.৪ গ্রাম ; গর্ভবতী বা স্তনদাত্রী নারী : 1.5 গ্রাম ; শিশু ও বালকবালিকা : 0.4-1.0 গ্রাম।

কলায় ক্যালসিয়াম ও ফসফরাস : দেহের প্রধান দুইটি দ্বিযোজী (bivalent) ধনাত্মক আয়নের (cation) মধ্যে ক্যালসিয়ামের পরিমাণ অস্থি, দন্ত প্রভৃতি কঠিন কলায় ও কোষবহির্ভূত রসে (extracellular fluid) ম্যাগনেসিয়ামের তুলনায় অধিক, কিন্তু আবরক কলা, পেশী প্রভৃতি কোমল কলায় ম্যাগনেসিয়ামের তুলনায় কম (সারণী 16.2 দ্রষ্টব্য)। দেহের মোট

সারণী 16.2. কয়েকটি রস ও কলার প্রতি 100 গ্রাম বা 100 মিলিলিটারে ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম ও ফসফরাসের পরিমাণ (মিলিগ্রামে)।

রস বা কলা	ক্যালসিয়াম	ম্যাগনেসিয়াম	ফসফরাস
কঙ্কালপেশী	7	19-21	160
হৃৎপেশী	6	13	145
প্লীহা	10	12	170
নার্ভ	15	10	300
অস্থি	11000	180	5000
দন্তাস্থি	27000	790	12500
দন্তের এনামেল	36000	470	17500
রক্ত	4.5-6	2-4	30-50
রক্তরস	9-11	2-3	10-16
সেরিব্রোস্পাইন্যাল রস	4.5-5.5	2.5-3.5	1.4-3

সারণীটি নিম্নলিখিত গ্রন্থ হইতে অনূদিত ও উদ্ধৃত : Debajyoti Das, *Biochemistry*, 2nd ed., 1980, Academic Publishers, Calcutta : New Delhi.

প্রায় 1200 গ্রাম ক্যালসিয়ামের শতকরা প্রায় 99 ভাগ এবং মোট 600 গ্রাম ফসফরাসের শতকরা প্রায় ৪০ ভাগ অস্থি, দন্তাস্থি (dentine) ও দাঁতের এনামেলে ক্যালসিয়াম কার্বনেট অ্যাপাটাইট ও ক্যালসিয়াম হাইড্রক্সিঅ্যাপাটাইট

নামক জটিল যৌগের আকারে থাকে। রক্তরসে রক্তকণিকার ক্যালসিয়ামের তুলনায় অনেক অধিক পরিমাণে ক্যালসিয়াম প্রধানতঃ নিম্নলিখিত তিনটি আকারে বর্তমান (মিলিগ্রাম/100 মিলিলিটার): (i) **আয়ণিত (ionized) ক্যালসিয়াম** (Ca^{2+}) : 4.5-6 ; **(ii) অনায়নিত যৌগাবদ্ধ (non-ionized complexed) ক্যালসিয়াম** (যথা, ক্যালসিয়ামের সাইট্রেট, ফসফেট ও বাই-কার্বনেট) : 0.3-0.5 ; **(iii)** রক্তরসের প্রোটিনের সহিত যৌগের আকারে **প্রোটিনাবদ্ধ (protein-bound) ক্যালসিয়াম :** 3.5-4.5। তন্মধ্যে প্রথম দুই আকারের ক্যালসিয়াম ব্যাপনের দ্বারা ঝিল্লী অতিক্রম করিতে পারে, কিন্তু প্রোটিনাবদ্ধ ক্যালসিয়ামের সে ক্ষমতা নাই। রক্তরসে ফসফরাস প্রধানতঃ দুইটি আকারে থাকে (মিলিগ্রাম/100 মিলিলিটার) : (i) **অজৈব ফসফেট :** 3-5 ; (ii) **লিপিড ফসফরাস :** 7-11। ইহা ছাড়া কিছু পরিমাণে লিপিড-বহির্ভূত জৈব ফসফেট এস্টারও রক্তরসে থাকে, যথা এটিপি, গ্লুকোজ ফসফেট এবং ফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিড ; অজৈব ফসফেট ও এরূপ জৈব ফসফেট এস্টারগুলির ফসফরাসকে একত্রে **অ্যাসিড-দ্রাব্য (acid-soluble) ফসফরাস** বলে—প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তে ইহার পরিমাণ প্রায় 30-40 মিলিগ্রাম, কিন্তু ঐ পরিমাণ রক্তরসে ইহার পরিমাণ মাত্র 5-7 মিলিগ্রাম, কারণ জৈব ফসফেট এস্টারগুলি রক্তরসের তুলনায় লোহিত কণিকায় অনেক অধিক পরিমাণে থাকে। অজৈব ফসফেটের অধিকাংশই রক্তরসে বর্তমান।

ক্যালসিয়ামের ক্রিয়া :

1. ক্যালসিয়াম ও ফসফরাস দিয়া গঠিত অ্যাপাটাইট লবণগুলি অস্থি, দন্তাস্থি ও দাঁতের এনামেলের জমি বা ধাত্রে নিয়মিত আকারের কেলাস (crystal) রূপে বিন্যস্ত থাকিয়া ঐ সকল কলাকে কাঠিন্য ও বল দান করে।

2. স্তন হইতে দুগ্ধক্ষরণের জন্য ক্যালসিয়াম অপরিহার্য, কারণ দুধে প্রায় 0.12% ক্যালসিয়াম থাকে। পাখির ডিমের খোলাতেও ক্যালসিয়াম থাকে ; এই ক্যালসিয়াম পাখির জরায়ুর খোলক গ্রন্থিগুলি (shell glands) হইতে ক্ষরিত হয়।

3. রক্ততঞ্চনের জন্য ক্যালসিয়াম অপরিহার্য—রক্তে অক্সালেট বা ফ্লোরাইড লবণ মিশাইয়া রক্তরসের ক্যালসিয়াম আয়নকে অধঃক্ষিপ্ত (precipitated) করিয়া দিলে অথবা সাইট্রেট লবণ মিশাইয়া ক্যালসিয়াম আয়নকে নিষ্ক্রিয়, অনায়নিত (nonionized) ও যৌগাবদ্ধ ক্যালসিয়ামে পরিণত করিলে রক্ততঞ্চন নিবারিত হইয়া বহুক্ষণ রক্ত তরল থাকে।

4. ফসফোরিলেজ বি কাইনেজ, এটিপেজ, গ্লুকোজ-6-ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ, 6-ফসফোগ্লুকোনেট ডিহাইড্রোজেনেজ, লাইপোপ্রোটিন লাইপেজ প্রভৃতি বহু এনজাইমের কার্যের জন্য ক্যালসিয়াম আয়নের প্রয়োজন।

5. কোষঝিল্লীর ছিদ্রগুলির গাত্রে সংলগ্ন ক্যালসিয়াম আয়নের ধনাত্মক আধানের (positive charge) প্রভাবে ঐসকল ছিদ্র দিয়া সোডিয়াম, পটাসিয়াম প্রভৃতি ধনাত্মক আয়নের (cation) ব্যাপন ক্লোরাইড প্রভৃতি ঋণাত্মক আয়নের (anion) তুলনায় কম হয়। ক্যালসিয়াম কোষঝিল্লীর প্রোটিনগুলির জলযুক্ত (hydrated) অবস্থাকে প্রভাবিত করিয়াও কোষঝিল্লীর পারগম্যতা (permeability) হ্রাস করে।

6. অগ্ন্যাশয়ের বিটা-কোষের সাইটোপ্লাজমে দানার আকারে সঞ্চিত ইনসুলিনকে মুক্ত করিয়া দিয়া ক্যালসিয়াম তাহার রক্তে প্রবেশে সাহায্য করে। আবার কয়েকটি পেপ্‌টাইড হর্মোন কোষবহির্ভূত রস হইতে বিভিন্ন কলার কোষমধ্যে ক্যালসিয়াম আয়নের প্রবেশ বাড়ায় অথবা কোষমধ্যে প্রোটিনাবদ্ধ ক্যালসিয়াম হইতে ক্যালসিয়াম আয়নকে মুক্ত করিয়া দেয়; ফলে ঐ সকল কোষে আয়নিত ক্যালসিয়াম বৃদ্ধি পায় ও তাহার প্রভাবে কোষের ক্রিয়ার তারতম্য ঘটিয়া উক্ত কলার উপরে হর্মোনের ক্রিয়া প্রকট হয়।

7. ক্যালসিয়াম আয়ন নার্ভ, পেশী প্রভৃতি কলার উদ্দীপনশক্তি (excitability) ও উত্তেজনা কমায়। টিটানি (tetany) রোগে রক্তরসে ক্যালসিয়াম আয়নের মাত্রাল্পতা ঘটিয়া নার্ভ ও পেশীর অস্বাভাবিক উত্তেজনা ও বিভিন্ন কঙ্কালপেশীর (skeletal muscle) দীর্ঘস্থায়ী ও তীব্র খিঁচুনিজাতীয় সংকোচন দেখা দেয়। আবার প্যারাথাইরয়েড হর্মোনের আধিক্যবশতঃ রক্ত-রসে ক্যালসিয়াম আয়নের মাত্রাধিক্য ঘটিলে নার্ভ ও পেশীর স্বাভাবিক উদ্দীপনা হ্রাস পায়। ক্যালসিয়ামের এই উদ্দীপনানিবারক ক্রিয়া সোডিয়াম ও পটাসিয়ামের উদ্দীপনাবর্ধক ক্রিয়ার বিপরীত।

8. ক্যালসিয়াম আয়ন হৃৎপেশীর সংকোচনশক্তি বাড়াইয়া দেয়, ফলে হৃৎস্পন্দনের গতি ও বল বৃদ্ধি পায়. ক্যালসিয়াম আয়নের আধিক্যে অনিয়মিত ও অস্বাভাবিক হৃৎস্পন্দন দেখা দেয়, এমনকি হৃৎপিণ্ড সংকুচিত অবস্থায় থামিয়া যাইতে পারে (ক্যালসিয়াম কাঠিন্য, calcium rigor)। হৃৎপেশীর উপরে ক্যালসিয়াম ও পটাসিয়ামের ক্রিয়া পরস্পরবিরোধী।

9. ঐচ্ছিক (voluntary) পেশীতন্তুর উদ্দীপনা ঘটিলে তাহার অভ্যন্তরে সার্কোপ্লাজ্‌মিক রেটিকুলামের নলগুলির গাত্র ভেদ করিয়া ক্যালসিয়াম

আয়ন সার্কোপ্লাজমে প্রবেশ করে এবং ট্রোপোনিন নামক পেশীপ্রোটিনের সহিত মিলিত হয়; ফলে পেশীতন্তুর অ্যাক্টিন ও মায়োসিনের মধ্যে বিক্রিয়া (reaction) নিবারণের কার্যে ট্রোপোনিন ও ট্রোপোমায়োসিনের মিলিত ক্রিয়া সাময়িকভাবে অবরুদ্ধ হয় এবং অ্যাক্টিন ও মায়োসিনের বিক্রিয়া ঘটিয়া পেশীতন্তু সংকুচিত হয়। তাহা ছাড়া ক্যালসিয়াম আয়ন মায়োসিন-এটিপেজ নামক এনজাইমটিকে সক্রিয় করিয়া তাহার প্রভাবে পেশীতন্তুতে এটিপির জলবিশ্লেষ সম্ভবপর করে এবং ঐ বিক্রিয়াপ্রসূত শক্তি সংকোচনে ব্যবহৃত হয়।

10. নার্ভীয় বিভবপ্রবাহের (nerve impulse) পরিবহনের জন্য এবং নার্ভ ও পেশীর সংযোগস্থল অতিক্রম করিয়া বিভবপ্রবাহের দ্বারা পেশীতন্তুকে উদ্দীপিত করার জন্য ক্যালসিয়াম আয়নের উপস্থিতি ও ক্রিয়ার প্রয়োজন। বিভবপ্রবাহ পরিবহনের সময়ে নার্ভতন্তুর ঝিল্লীতে যে প্রবহমান বিছদন (depolarization) ঘটিতে থাকে, উদ্দীপনার ফলে নার্ভতন্তুর প্রাসঙ্গিক অংশে ক্যালসিয়াম আয়নের গাঢ়তাবৃদ্ধি তাহার সহায়ক।

ফসফরাসের ক্রিয়া :

1. অস্থি ও দন্তের গঠনে ফসফরাস-ঘটিত অ্যাপাটাইট লবণগুলি অপরিহার্য। ইহাদের কেলাস অস্থি, দন্তাস্থি ও এনামেলের জমিতে সজ্জিত থাকে।

2. কোষঝিল্লী এবং মাইটোকন্ড্রিয়া, গলগি-অঙ্গ, নিউক্লিয়াস প্রভৃতি ঝিল্লীবেষ্টিত (membrane-bound) কোষাঙ্গকের (organelle) ঝিল্লী মুখ্যতঃ ফসফরাস-ঘটিত ফসফোলিপিড ও লাইপোপ্রোটিনে গঠিত।

3. ডিম ও দুধে যথাক্রমে ওভোভিটেলিন ও কেসিন নামক ফসফো-প্রোটিনের অণুতে ফসফরাস বর্তমান। সেজন্য ডিম ও দুধের উৎপাদনের জন্য ইহা অপরিহার্য।

4. জীনের গঠন ও প্রোটিন সংশ্লেষণে ফসফরাস অপরিহার্য, কারণ ফসফরাস ডি.এন.এ. এবং আর.এন.এ. উভয় প্রকার নিউক্লিক অ্যাসিড অণুরই এক অপরিহার্য উপাদান।

5. রক্ত ও অন্যান্য কলায় সোডিয়াম অথবা পটাসিয়াম ঘটিত ক্ষারধর্মী (dibasic) মোনোহাইড্রোজেন ফসফেট ও অম্লধর্মী (monobasic) ডাই-হাইড্রোজেন ফসফেট মিশ্রিত অবস্থায় বাফার (buffer) রূপে কাজ করে এবং

যথাক্রমে অম্ল ও ক্ষারের আধিক্য নিবারণ করিয়া হাইড্রোজেন আয়নের গাঢ়তাকে অক্ষুণ্ন রাখে।

6. এটিপি, জিটিপি, সিটিপি, ক্রিয়াটিন ফসফেট প্রভৃতি কয়েকটি জৈব ফসফেটের অণুর ফসফেট বর্গ-সংশ্লিষ্ট বন্ধনীতে (bond) যথেষ্ট শক্তি নিহিত থাকে; ইহাকে **উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী** (high-energy phosphate bond) বলে; দেহে শক্তির সঞ্চয় ও ব্যবহারে ইহার প্রয়োগ অপরিহার্য।

7. দেহে বহু বিক্রিয়ায় উচ্চশক্তি ফসফেট এবং নিম্নশক্তি (low-energy) ফসফেট, উভয় প্রকার যৌগের সাহায্যেই বিভিন্ন বস্তুর অণুতে ফসফেট বর্গ যুক্ত হইয়া বিক্রিয়া ও বিপাকে সাহায্য করে। ইহাকে **ফসফোরিলেশন** (phosphorylation) বলে; যথা, গ্লাইকোলিসিসের প্রথম পদে এটিপির সাহায্যে গ্লুকোজের ফসফোরিলেশন ঘটিয়া গ্লুকোজ-6-ফসফেটের উৎপাদন। আবার ক্ষুদ্রান্ত্রে খাদ্যের নিউক্লিওসাইড পরিপাকের সময়ে উহার সহিত জলের পরিবর্তে অজৈব ফসফেটের বিক্রিয়া ঘটাইয়া নিউক্লিওসাইড অণুকে ভাঙ্গিয়া পিউরিন বা পিরিমিডিন এবং পেণ্টোজ ফসফেটে পরিণত করা হয়; ইহাকে **ফসফোরোলাইসিস** (phosphorolysis) বলে।

8. এন-এ-ডি, এন-এ-ডি-পি, পাইরিডক্সাল ফসফেট, থিয়ামিন পাইরো-ফসফেট, কোএনজাইম এ, এফ-এম-এন, এফ-এ-ডি-এন প্রভৃতি বহু ভিটামিন-ঘটিত কোএনজাইমের অণুতে ফসফেট বর্গ বর্তমান।

শোষণ ও পরিণাম : ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রথমার্ধের আবরক কোষগুলির মাইক্রো-ভিলাস-ঝিল্লীতে বর্তমান একপ্রকার ক্যালসিয়াম-বাহক (calcium-carrier or calcium-binding) প্রোটিনের সহিত খাদ্যের ক্যালসিয়াম আয়ন মিলিত হইয়া যৌগের আকারে উক্ত ঝিল্লী অতিক্রম করে এবং ঝিল্লীর সাইটোপ্লাজম-মুখী পৃষ্ঠে ঐ যৌগটি হইতে ক্যালসিয়াম আয়ন মুক্ত হইয়া সাইটোপ্লাজমে প্রবেশ করে। উক্ত বাহক প্রোটিনের সহিত সংশ্লিষ্ট ক্যালসিয়াম-নির্ভর এটিপেজ নামক এনজাইমের ক্রিয়ায় এটিপির ভাঙ্গন ঘটিয়া ঐ সক্রিয় শোষণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি উৎপন্ন হয়। অজৈব ফসফেটও ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইয়া থাকে। ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের শোষণে বহু বিষয়ের প্রভাবের গুরুত্ব আছে।

1. খাদ্যে ক্যালসিয়াম-ফসফরাস অনুপাত : খাদ্যে এই দুই উপাদানের মধ্যে যে-কোনওটির পরিমাণ অপরটির দ্বিগুণের অধিক হইলে উভয়েরই শোষণ হ্রাস পায়।

2. **ক্ষুদ্রান্ত্র-বিবরে অম্লত্ব :** অম্লত্ব বাড়িলে ক্যালসিয়াম-লবণের জলদ্রাব্যতা বাড়ে। এজন্য দই খাইলে তাহার ল্যাক্‌টিক অ্যাসিডের প্রভাবে ক্যালসিয়ামের শোষণ বৃদ্ধি পায়। অন্ত্রে শর্করার ব্যাকটেরিয়া-ঘটিত কিণ্বনের (fermentation) ফলে উৎপন্ন জৈব অ্যাসিডগুলিও এভাবে ক্যালসিয়ামের শোষণ বাড়ায়।

3. **খাদ্যের প্রোটিন :** ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রোটিন পরিপাকের ফলে উৎপন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডের প্রভাবে ক্যালসিয়াম-লবণগুলি সহজেই দ্রবীভূত ও শোষিত হয়; এভাবে খাদ্যের প্রোটিন ক্যালসিয়ামের শোষণকে প্রায় দ্বিগুণ পর্যন্ত বাড়াইতে পারে।

4. **খাদ্যের স্নেহপদার্থ :** অধিক তেল বা চর্বিযুক্ত খাদ্য খাইলে ও তাহার শোষণ সম্পূর্ণ না হইলে ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি অন্ত্রের বিবরে অদ্রাব্য ক্যালসিয়াম-ঘটিত সাবান উৎপন্ন করে, ফলে ক্যালসিয়ামের শোষণ কমিয়া যায়; আবার ঐ অবস্থায় ক্ষুদ্রান্ত্র-বিবরের জলীয় দ্রবণে ক্যালসিয়াম-ফসফরাস অনুপাত কমিয়া যাওয়ায় পরোক্ষে ফসফরাসের শোষণও হ্রাস পায়।

5. **খাদ্যে ফাইটেট, অক্সালেট, লৌহ :** ওল, কচু, পালং, চা, কোকো প্রভৃতির অক্সালিক অ্যাসিড এবং গম, ওট্‌স্ প্রভৃতি শস্যের ফাইটিক অ্যাসিড ক্যালসিয়ামের সহিত মিলিয়া অদ্রাব্য যৌগ উৎপন্ন করে, অন্যদিকে খাদ্যে লৌহের আধিক্যে অদ্রাব্য ফেরিক ফসফেট উৎপন্ন হয়। এসকল অবস্থায় ক্ষুদ্রান্ত্র-বিবরে সহজপ্রাপ্য ও মুক্ত ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের অনুপাত যথাক্রমে অত্যধিক কমিয়া ও বাড়িয়া যাওয়ায় উভয় বস্তুর শোষণই কমিয়া যায়।

6. **পিত্তলবণ :** পিত্তলবণগুলির (bile salts) প্রভাবে সম্ভবতঃ অদ্রাব্য ক্যালসিয়াম ফসফেট জলদ্রাব্য মিসেল (micelle) কণার অন্তর্ভুক্ত হইয়া যায়, ফলে ক্যালসিয়াম ও ফসফেট উভয়েরই শোষণ বাড়ে (12.7 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

7. **ভিটামিন ডি :** ভিটামিন ডি, হইতে উৎপন্ন **1,25-ডাইহাইড্রক্সি-কোলেক্যালসিফেরল** ক্ষুদ্রান্ত্রের আবরক কোষে ক্যালসিয়াম-বাহক প্রোটিনের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া ক্যালসিয়ামের শোষণ বর্ধিত করে। ভিটামিন ডি-এর অভাবজনিত রিকেটস ও অস্টিওম্যালাশিয়া রোগে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের শোষণ কমিয়া মলে তাহাদের পরিমাণ বাড়ে। অতএব ভিটামিন ডি এই দুই উপাদানের শোষণের জন্য অপরিহার্য।

অস্থিই দেহে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের প্রধান সঞ্চয়স্থল। দিনে প্রায় 900 ও 200 মিলিগ্রাম ক্যালসিয়াম যথাক্রমে মল ও মূত্রে বাহির হয়।

অবশ্য মলের ক্যালসিয়ামের 80% খাদ্যের অশোষিত অংশ হইতে এবং 20% পিত্ত, লালা প্রভৃতি পাচকরস হইতে আসে। দিনে প্রায় 1-1.5 গ্রাম ফসফেট মূত্রে এবং সামান্য পরিমাণে ফসফেট মলে বাহির হয়। গ্লোমেরিউলাসের পরিস্রুত রসের (glomerular filtrate) প্রায় 98% ক্যালসিয়াম এবং প্রায় 70% ফসফেট প্রধানতঃ টিবিউলের জটিলাংশগুলিতে (convoluted tubules) সক্রিয়ভাবে শোষিত হইয়া রক্তে ফিরিয়া যায়; অবশিষ্টাংশ মূত্রে বাহির হয়।

বৃদ্ধি, গর্ভধারণ প্রভৃতি অবস্থায় খাদ্যে গৃহীত ক্যালসিয়ামের তুলনায় অপেক্ষাকৃত কম ক্যালসিয়াম মলমূত্রে বাহির হয় (**ধনাত্মক ক্যালসিয়াম-সাম্য,** positive calcium balance)। দীর্ঘকাল শয্যাশায়ী থাকিলে অথবা মহাকাশে ভ্রমণকালে দীর্ঘক্ষণ দৈহিক ওজনশূন্যতার অবস্থায় কাটাইলে কিংবা প্যারাথর্মোনের আধিক্য ঘটিলে অস্থি হইতে ক্যালসিয়ামের অপসারণ বাড়ে এবং খাদ্য হইতে আহৃত ক্যালসিয়ামের তুলনায় দেহ হইতে ক্যালসিয়ামের রেচন অধিক হয় (**ঋণাত্মক ক্যালসিয়াম-সাম্য,** negative calcium balance)। আহার্য হইতে আহৃত ক্যালসিয়াম এবং মলমূত্রে রেচিত ক্যালসিয়ামের পরিমাণ সমান হইলে দেহে **ক্যালসিয়াম-সমস্থিতি** (calcium equilibrium) স্থাপিত হয়।

নিয়ন্ত্রণ :

1. ভিটামিন ডি : (*a*) ভিটামিন ডি$_3$ হইতে উৎপন্ন 1,25-ডাইহাইড্রক্সিকোলেক্যালসিফেরল ক্ষুদ্রান্ত্রের আবরক কোষগুলিতে ক্যালসিয়াম-বাহক প্রোটিনের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া ক্ষুদ্রান্ত্রে ক্যালসিয়ামের শোষণ বর্ধিত করে; ভিটামিন ডি অন্ত্র হইতে ফসফেটের শোষণও বাড়াইয়া দেয়। (*b*) ভিটামিন ডি অস্থি ও দন্তে ক্যালসিয়াম ফসফেটের অবক্ষেপণ (deposition) ঘটাইয়া ঐসকল কলার বৃদ্ধি ও বিকাশ ঘটায়। (*c*) 1,25-ডাইহাইড্রক্সিকোলেক্যালসিফেরল অস্থি হইতে ক্যালসিয়াম ও অজৈব ফসফেটকে মুক্ত করিয়া দিয়া রক্তে উহাদের গাঢ়তা বর্ধিত করে। (*d*) রক্তে ক্যালসিয়াম কমিলে ভিটামিন ডি$_3$ হইতে 1,25-ডাইহাইড্রক্সিকোলেক্যালসিফেরল উৎপন্ন হয় ও তাহার প্রভাবে বৃক্কের টিবিউলে মূত্র হইতে ক্যালসিয়াম ও ফসফেটের শোষণ বাড়িয়া মূত্রে উহাদের পরিমাণ কমে : কিন্তু রক্তে ক্যালসিয়ামের মাত্রাধিক্য ঘটিলে ডি$_3$ হইতে 21,25-ডাইহাইড্রক্সিকোলেক্যালসিফেরল উৎপন্ন হয় এবং তাহার প্রভাবে টিবিউলে ক্যালসিয়াম ও ফসফেটের শোষণ কমিয়া মূত্রে তাহাদের

পরিমাণ বাড়ে। 1,25-ডাইহাইড্রক্সিকোলেক্যালসিফেরল অস্থি ও বৃক্কের যথাক্রমে অস্থিগ্রাসী কোষ (osteoclast) ও টিবিউল-কোষে ক্যালসিয়াম-বাহক প্রোটিনের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া উপরি-উক্ত ক্রিয়াগুলি সম্পাদন করে বলিয়া মনে হয়। ভিটামিন ডি-এর অভাবে শিশুর রিকেট্স্ হইলে মলে অশোষিত ক্যালসিয়াম ও ফসফেটের পরিমাণ বাড়ে, রক্তে ক্যালসিয়াম কমে এবং অস্থি ও দন্তে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের অবক্ষেপণ হ্রাস পাইয়া তাহাদের গঠন, দৃঢ়তা ও বৃদ্ধি ব্যাহত হয়।

2. **প্যারাথর্মোন :** (*a*) প্যারাথাইরয়েড গ্রন্থির প্যারাথর্মোন অস্থিতে অস্থিগ্রাসী (osteoclast) কোষের ক্রিয়া বাড়াইয়া অস্থি হইতে ক্যালসিয়াম ও ফসফেটকে রক্তে মুক্ত করিয়া দেয়। (*b*) প্যারাথর্মোন ভিটামিন ডি-এর সাহায্য ব্যতীতই বৃক্ককে প্রত্যক্ষভাবে প্রভাবিত করিয়া মূত্রে ফসফেটের রেচন বাড়াইয়া দেয় এবং রক্তে ফসফেটের মাত্রা কমায় ; ইহার পরোক্ষ প্রভাবে অস্থি হইতে ক্যালসিয়াম ও ফসফেট মুক্ত হইয়া রক্তে আসে। (*c*) প্যারাথর্মোন বৃক্কে গ্লোমেরিউলাসের পরিস্রুত রস হইতে ক্যালসিয়ামের শোষণ বাড়ায়। (*d*) প্যারাথর্মোন বৃক্কে ভিটামিন ডি$_3$ হইতে 1,25-ডাইহাইড্রক্সিকোলে-ক্যালসিফেরলের উৎপাদন বাড়াইয়া পরোক্ষে ক্ষুদ্রান্ত্রে ক্যালসিয়ামের শোষণ বর্ধিত করে। এসকল ক্রিয়ার ফলে প্যারাথর্মোন রক্তে ক্যালসিয়াম বাড়ায় এবং অস্থিতে ক্যালসিয়াম ও ফসফেট কমায়। উক্ত হর্মোনের স্বল্পতাজনিত **টিটানি** (tetany) রোগে রক্ত ও মূত্রে ক্যালসিয়াম হ্রাস পায়, মূত্রে ফসফেট কমে, কিন্তু রক্তে অজৈব ফসফেট বাড়ে ; প্যারাথর্মোনের আধিক্যজনিত **অস্টাইটিস ফাইব্রোসা সিস্টিকা** রোগে অস্থিতে ক্যালসিয়াম ও ফসফেট কমিয়া অস্থির দৃঢ়তা ও ঘনত্ব হ্রাস পায় এবং ভঙ্গুরতা বাড়ে, রক্ত ও মূত্রে ক্যালসিয়াম বৃদ্ধি পায়, রক্তবাহ, বৃক্ক প্রভৃতি কোমল কলায় ক্যালসিয়ামের অবক্ষেপণ ঘটে, মূত্রে ফসফেটের পরিমাণ বাড়ে।

3. **ক্যালসিটোনিন :** এই হর্মোনটি অস্থি হইতে ফসফেট ও ক্যাল-সিয়ামের রক্তে আগমনকে কমাইয়া দেয় এবং বৃক্কের টিবিউল-কোষে ক্যালসিয়াম পরিবহনকে প্রভাবিত করিয়া মূত্র হইতে ক্যালসিয়ামের শোষণে তারতম্য ঘটায়। ইহার প্রভাবে রক্তে ক্যালসিয়াম হ্রাস পায়।

4. **রক্তে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের পরিমাণের অনুপাত :** সাধারণতঃ রক্তরসে অজৈব ফসফেট বাড়িলে ক্যালসিয়ামের মাত্রা কমে এবং ক্যালসিয়ামের মাত্রাধিক্য ঘটিলে অজৈব ফসফেট কমে। টিটানি, অস্টাইটিস ফাইব্রোসা

সিস্টিকা প্রভৃতি রোগেও রক্তে এই দুই উপাদানের এরূপ বিপরীত সম্পর্ক দেখা যায়।

5. **রক্তরসের প্রোটিন :** রক্তরসে অ্যালবুমিন ও গ্লোবিউলিন কমিলে বা বাড়িলে ক্যালসিয়ামেরও সেই অনুপাতে হ্রাসবৃদ্ধি ঘটে।

16.4 ম্যাগনেসিয়াম বিপাক

উৎস : সয়াবিন, গম, ভুট্টা, চাল, ডাল, বাদাম, মটর, কোকো, মাংস।

দৈনিক খাদ্যে প্রয়োজনীয় পরিমাণ : প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ : 350 মিলি-গ্রাম ; প্রাপ্তবয়স্কা নারী : 300 মিলিগাম ; গর্ভবতী বা স্তনদাত্রী মাতা : 450 মিলিগ্রাম।

ক্রিয়া :

1. গ্লুকোকাইনেজ, পাইরিডক্সিন কাইনেজ, এটিপি সালফিউরিলেজ, হেক্সোকাইনেজ, ফসফোগ্লুকোমিউটেজ, গ্যাল্যাক্টোকাইনেজ, গ্লুকোজ-6-ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ, এনোলেজ, ট্রান্সকিটোলেজ, গ্লুকুনোল্যাক্টোনেজ, ক্রিয়াটিন কাইনেজ, লিউসিন অ্যামাইনোপেপ্টাইডেজ, অ্যাসেটাইল-কো এ সিন্থেজ, থায়োকাইনেজ, মেভালোনেট কাইনেজ, মায়োসিন এটিপেজ, প্রিস্কোয়ালিন সিন্থেজ, ফস্ফোগ্লিসেরেট কাইনেজ, ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ, গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজ প্রভৃতি বহু এনজাইমের ক্রিয়ার জন্য সহায়ক উপাদান (cofactor) হিসাবে ম্যাগনেসিয়াম আয়নের প্রয়োজন। বহু ফসফোট্রান্স-ফেরেজ ও ফসফাটেজের ক্রিয়ায় সহায়তা করিয়া ম্যাগনেসিয়াম আয়ন উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনীর (high-energy phosphate bonds) উৎপাদন, স্থানান্তরণ ও জলবিশ্লেষে অংশগ্রহণ করে।

2. ক্যালসিয়ামের মতই ম্যাগনেসিয়াম আয়ন দেহে পেশী ও নার্ভের উদ্দীপনশক্তি (excitability) ও উত্তেজনা হ্রাস করে; এবিষয়ে ম্যাগনেসিয়ামের ক্রিয়া সোডিয়াম ও পটাসিয়ামের বিপরীত। ইঁদুর, গবাদি পশু ও মানুষের ক্ষেত্রে ম্যাগনেসিয়ামের অভাবজনিত টিটানি (tetany) রোগে অস্বাভাবিক উত্তেজনা, ভুল বকা, অঙ্গপ্রত্যঙ্গের অস্বাভাবিক সঞ্চালন, কাঁপুনি ও খিঁচুনি দেখা দেয়। অন্যদিকে ম্যাগনেসিয়াম-লবণের ইন্‌জেক্‌শনে পশুর নিদ্রালুতা, পক্ষাঘাত ও সংজ্ঞালোপ ঘটিতে পারে।

3. অস্থি ও দন্তের জমিতে ক্যালসিয়াম ও ফসফেট-ঘটিত অ্যাপাটাইট যৌগে ম্যাগনেসিয়ামও উল্লেখযোগ্য পরিমাণে বর্তমান।

শোষণ, সঞ্চয় ও পরিণাম : প্রধানতঃ গ্রহণী (duodenum) ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র (jejunum) হইতে এবং সম্ভবতঃ ক্যালসিয়াম-শোষণের জন্য ব্যবহৃত বাহক প্রোটিনের (Ca^{2+}-carrier protein) দ্বারাই ম্যাগনেসিয়াম সক্রিয়ভাবে শোষিত হয়। ভিটামিন ডি অন্ত্রে উক্ত বাহক প্রোটিনের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া ম্যাগনেসিয়ামের শোষণও বাড়াইতে পারে। খাদ্যের ফাইটিক অ্যাসিড অন্ত্রে অদ্রাব্য ম্যাগনেসিয়াম ফাইটেট উৎপন্ন করিয়া ম্যাগনেসিয়ামের শোষণ কমায়। ক্ষুদ্রান্ত্রের অম্লধর্মী পরিবেশে ম্যাগনেসিয়াম লবণের জলদ্রাব্যতা ও শোষণ বৃদ্ধি পায়। খাদ্যে ক্যালসিয়ামের স্বল্পতা ম্যাগনেসিয়াম শোষণের পক্ষে অনুকূল—ক্যালসিয়াম অধিক খাইলে ম্যাগনেসিয়ামের শোষণ কমিয়া উহার অভাব-জনিত টিটানির প্রবণতা ও তীব্রতা বাড়ে।

দেহের মোট প্রায় 23 গ্রাম ম্যাগনেসিয়ামের মধ্যে প্রায় 16 গ্রামই অস্থিতে অ্যাপাটাইট ও অন্যান্য যৌগের আকারে সঞ্চিত থাকে। অবশ্য অস্থি, দন্ত প্রভৃতি কঠিন কলায় ও কোষবহির্ভূত রসে ক্যালসিয়ামের তুলনায় ম্যাগনেসিয়ামের গাঢ়তা ও পরিমাণ কম ; কোমল কলাগুলিতে ও কোষমধ্যে অবস্থা ইহার বিপরীত (সারণী 16.2 দ্রষ্টব্য)। রক্তরসে ও লোহিত কণিকায় ম্যাগনেসিয়াম অংশতঃ আয়ন আকারে ও অংশতঃ ম্যাগনেসিয়াম-প্রোটিন যৌগরূপে বর্তমান।

মূত্রে স্বাভাবিক অবস্থায় দৈনিক প্রায় 120-180 মিলিগ্রাম ম্যাগনেসিয়াম অজৈব লবণের আকারে বাহির হয়।

16.5 গন্ধক বিপাক

উৎস : মাছমাংস, ডিম, যকৃত বা মেটে প্রভৃতি আমিষ খাদ্য।

ক্রিয়া :

1. গন্ধক খাদ্যে ও দেহে প্রধানতঃ সিস্টাইন, সিস্টিন প্রভৃতি গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডের অণুতে বর্তমান এবং এই অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি বিভিন্ন কলার প্রোটিন, নানাপ্রকার পেপ্‌টাইড হর্মোন, বহু এনজাইম প্রভৃতির গঠন ও উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়। পেশীর ট্রায়োজ ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ, পেঁপের প্যাপেন, যকৃতের ইউরিয়েজ প্রভৃতি বহু এনজাইমের অণুতে সিস্টাইনের মুক্ত সাল্‌ফ্‌হাইড্রিল (SH) বর্গই সক্রিয় বর্গ (active group) রূপে কাজ করে ; এরূপ এনজাইমগুলিকে **সাল্‌ফ্‌হাইড্রিল এনজাইম** বলে।

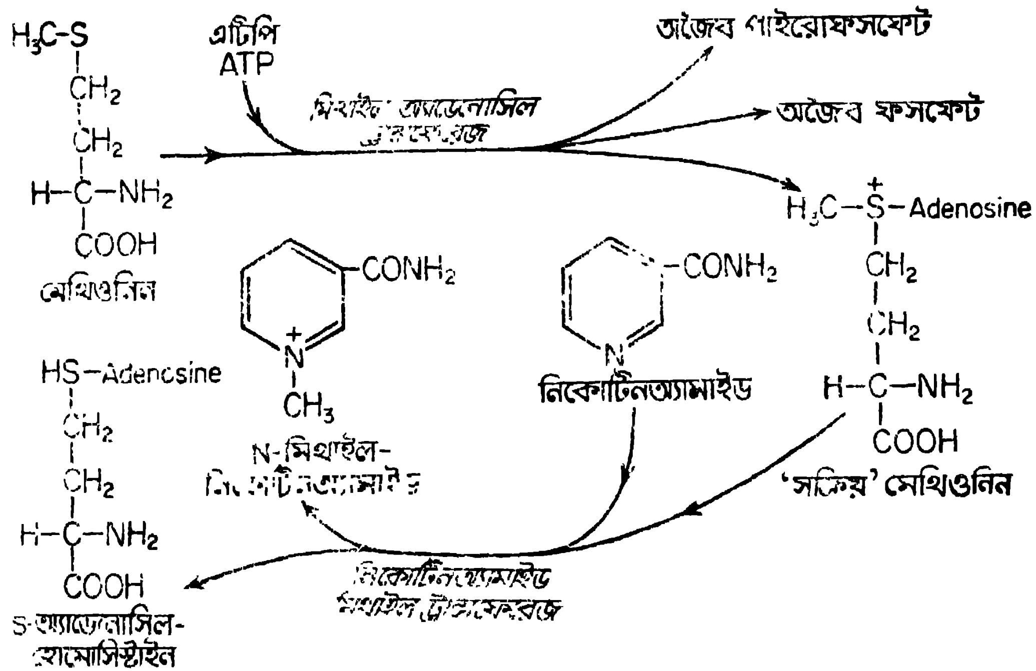
2. মাইটোকন্ড্রিয়ায় কতকগুলি হিম-বিরহিত লৌহ-ঘটিত (non-heme iron) এনজাইমের অণুর প্রস্থেটিক বা প্রোটিনেতর বর্গে লৌহ ও গন্ধক পরস্পর

সংলগ্ন থাকিয়া জারণে (oxidation) সাহায্য করে ; কিন্তু এইরূপ প্রোটিনেতর বর্গে হিম বা পরফিরিন এবং গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড, কোনওটিই থাকে না।

3. গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড সিস্টাইন কোষমধ্যে গ্লুটাথিওন নামক জারণ-সহায়ক ট্রাইপেপ্টাইড সংশ্লেষণেও প্রযুক্ত হয়। গ্লুটাথিওনের সাল্ফ্-হাইড্রিল বর্গই জারণ-বিজারণের কার্যে উহার সক্রিয় বর্গ।

4. কোএনজাইম এ, টওরোকোলেট (একজাতীয় পিত্তলবণ) প্রভৃতি বহু অপরিহার্য বস্তু গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড সিস্টাইন হইতে সংশ্লেষিত হয়।

5. যকৃত, মস্তিষ্ক ও নার্ভতন্ত্রে গ্লাইকোলিপিড অণুর গ্যাল্যাক্টোজ অংশে সালফিউরিক অ্যাসিড বর্গ যুক্ত করিয়া সালফোলিপিড উৎপাদন করা হয়।

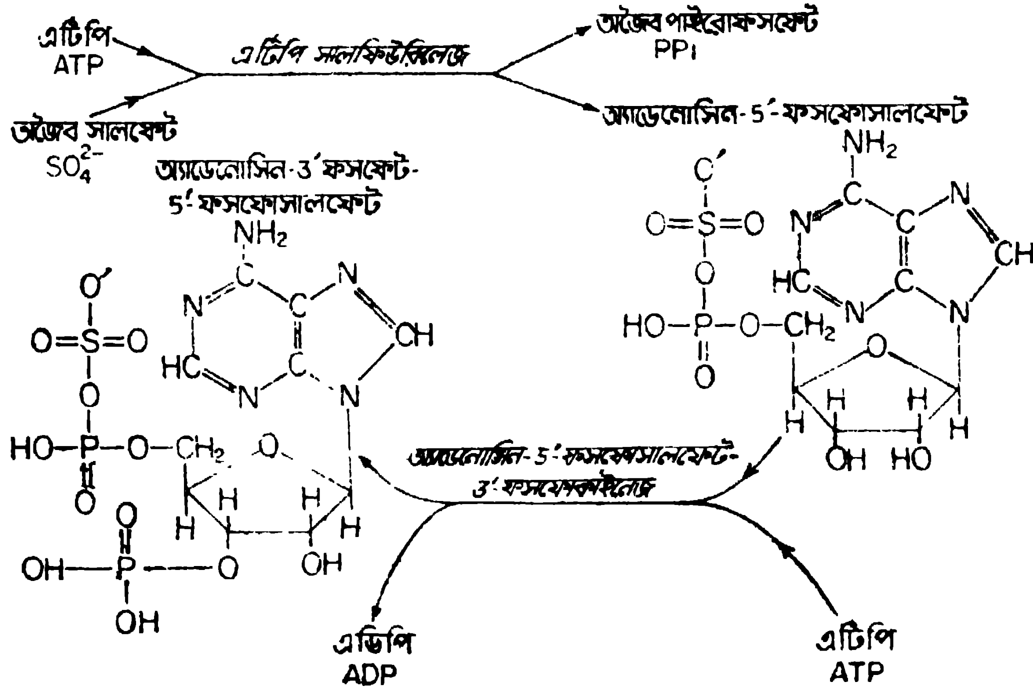


চিত্র 16.1. 'সক্রিয়' মেথিওনিনের মিথাইল বর্গের নিকোটিনঅ্যামাইডে স্থানান্তরণ।

তাহা ছাড়া যকৃত, অস্থি ও তরুণাস্থিতে (cartilage) বিভিন্ন মিউকোপলিস্যাকারাইড অণু সংশ্লেষণের সময়ে উক্ত অণুর অন্তর্গত গ্যাল্যাক্টোজঅ্যামাইন, গ্লুকোজঅ্যামাইন, গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড প্রভৃতির অণুতে সালফিউরিক অ্যাসিড বর্গ যুক্ত হয়। দেহে গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডের জারণেই সালফিউরিক অ্যাসিড বা সালফেট বর্গের উদ্ভব ঘটে।

6. যকৃতে নানা অপ্রয়োজনীয় বস্তুকে নিষ্ক্রিয় (detoxicate) করিবার জন্য তাহাদের অণুতে সালফেট বা সালফিউরিক অ্যাসিড বর্গ অথবা সিস্টাইন নামক গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড যোগ করা হয়।

7. দেহে 'সক্রিয় সালফেট', 'সক্রিয় অ্যাসিটেট' এবং 'সক্রিয় মেথিওনিন' অণুতে গন্ধক উচ্চশক্তি (high-energy) বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত থাকে। কোএনজাইম এ অণুর সাল্‌ফ্‌হাইড্রিল বর্গের গন্ধকের সহিত অ্যাসেটাইল বর্গ মিলিত হইলে **সক্রিয় অ্যাসিটেট** বা অ্যাসেটাইল-কো এ উৎপন্ন হয় এবং ইহার গন্ধক-সংলগ্ন অ্যাসেটাইল বর্গটি অন্য বস্তুর অণুতে স্থানান্তরিত হইতে পারে (transacetylation)। এটিপি অণুর অ্যাডেনোসিল বর্গ মেথিওনিনের গন্ধকের সহিত যুক্ত হইলে **সক্রিয় মেথিওনিন** বা এস্‌-অ্যাডেনোসিলমেথিওনিন (S-adenosylmethionine) উৎপন্ন হয় এবং ইহার গন্ধক-সংলগ্ন মিথাইল বর্গটি তখন অন্য



চিত্র 16.2 'সক্রিয়' সালফেটের উৎপাদন।

বস্তুর অণুতে স্থানান্তরিত হয় (transmethylation, চিত্র 16.1)। আবার অজৈব সালফেট (SO_4^{2-}) এবং এটিপি-র মিলনে **সক্রিয় সালফেট** বা অ্যাডেনোসিন 3′-ফসফেট-5′-ফসফোসালফেট উৎপন্ন হয় (চিত্র 16.2) এবং উহা অন্য বস্তুর অণুতে সালফেট বর্গ সংযোজনে ব্যবহৃত হয়।

কলায় অবস্থিতি ও পরিণাম : প্রাপ্তবয়স্ক মানবদেহে প্রায় 125 গ্রাম গন্ধক থাকে। প্রধানতঃ নানাপ্রকার কলা-গঠনকারী (structural) প্রোটিন, সাল্‌ফোলিপিড, মিউকোপলিস্যাকারাইড, পেপ্‌টাইড হর্মোন ও এনজাইমের অণুতে এবং অপেক্ষাকৃত অল্প পরিমাণে অজৈব সালফেট, পিত্তলবণ, ভিটামিন প্রভৃতি বস্তুগুলির অণুতে গন্ধক থাকে। রক্তে অজৈব সাল্‌ফেট, গন্ধকযুক্ত প্রোটিন,

নিউট্রাল সাল্‌ফার ও ইথারিয়াল সাল্‌ফেট আকারে গন্ধক বর্তমান। **নিউট্রাল সাল্‌ফার** প্রধানতঃ মুক্ত, গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মিশ্রণ ; **ইথারিয়াল সাল্‌ফেট** মুখ্যতঃ যকৃতে সাল্‌ফেট-যোগে ফেনল, ইন্‌ডোল প্রভৃতি বস্তুর নির্বিষকরণের (detoxication) ফলে উৎপন্ন জৈব গন্ধক যোগ। প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তে প্রায় 0.1-1 মিলিগ্রাম অজৈব সালফেট, প্রায় 0.1-1 মিলিগ্রাম ইথারিয়াল সালফেটের গন্ধক এবং প্রায় 2.2-4.5 মিলিগ্রাম নিউট্রাল সাল্‌ফারের গন্ধক বর্তমান ; ইহাদের অধিকাংশ রক্তরসে বর্তমান।

যকৃতে গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির জারণের ফলে অজৈব সালফেট উৎপন্ন হয়। মূত্রে 24 ঘণ্টায় প্রায় 0.7-1.4 গ্রাম গন্ধক বাহির হয় ; ইহার প্রায় 85-90% অজৈব সালফেট, প্রায় 6-7% ইথারিয়াল সালফেট এবং প্রায় 4-6% নিউট্রাল সাল্‌ফাররূপে রেচিত হয়। ফোলিনের মতে, মূত্রের অজৈব সাল্‌ফেট প্রধানতঃ খাদ্য হইতে আহৃত গন্ধক-যৌগের বিপাকের ফলে অর্থাৎ 'বহিরাগত গন্ধকবিপাকে'র (exogenous sulfur metabolism) দ্বারা উৎপন্ন হয়, মূত্রের নিউট্রাল সালফার মুখ্যতঃ কলার গন্ধকযুক্ত প্রোটিনের বিপাকের ফলে অর্থাৎ 'আভ্যন্তরীণ গন্ধকবিপাকে'র (endogenous sulfur metabolism) দ্বারা সৃষ্ট হয় এবং মূত্রের ইথারিয়াল সালফেট অন্ততঃ অংশতঃ 'বহিরাগত গন্ধকবিপাকে'র ফলে উৎপন্ন হয়। খাদ্যে প্রোটিন বাড়িলে মূত্রে অজৈব সাল্‌ফেট বৃদ্ধি পায়, ইথারিয়াল সাল্‌ফেটও কিছু বাড়িতে পারে, কিন্তু নিউট্রাল সাল্‌ফার বাড়ে না।

16.6 লেশ মৌল (trace elements)

ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের তুলনায় যে সকল খনিজ মৌল অনেক কম পরিমাণে দেহে বর্তমান এবং খাদ্যে যৎসামান্য পরিমাণে থাকিলেই চলে, তাহাদের লেশ মৌল বলে। মানবদেহে যে কয়টি লেশ মৌলের গুরুত্ব আছে, 16.7 হইতে 16.17 প্রসঙ্গে সেগুলি সংক্ষেপে বর্ণিত হইতেছে।

16.7 লৌহ

উৎস : যকৃত বা মেটে, ডিমের কুসুম, মাংস, মাছ, সয়াবিন, বাদাম, মটর, মুসুর ডাল, পালংশাক, ডুমুর, খেজুর প্রভৃতি।

দৈনিক খাদ্যে প্রয়োজনীয় পরিমাণ : প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ : 10 মিলিগ্রাম ; প্রাপ্তবয়স্কা নারী : 15 মিলিগ্রাম ; গর্ভবতী বা স্তনদাত্রী নারী : 20 মিলিগ্রাম ; শিশু : 8-12 মিলিগ্রাম ; বালকবালিকা : 15 মিলিগ্রাম। ঋতুস্রাবের

(menstruation) সহিত কিছু লৌহের অপচয় ঘটে বলিয়া নারীর আহার্যে পুরুষের তুলনায় অধিক লৌহের প্রয়োজন।

ক্রিয়া :

1. হিমোগ্লোবিন অণুর হিম (heme) অংশ লৌহ ও পর্‌ফিরিন নামক রঙ্গকের (pigment) মিলনে গঠিত ; এজন্য লোহিত রক্তকণিকার উৎপাদন ও হিমোগ্লোবিন সংশ্লেষণের জন্য লৌহ অপরিহার্য। খাদ্যে লৌহের অভাব ঘটিলে লোহিত কণিকার আয়তন ক্ষুদ্রতর এবং তাহার মধ্যে হিমোগ্লোবিনের পরিমাণ স্বল্পতর হইয়া গিয়া একপ্রকার রক্তাল্পতা (hypochromic microcytic anemia) রোগ জন্মায় এবং অন্ত্র হইতে লৌহের শোষণ অস্বাভাবিক বৃদ্ধি পায়। লৌহ-ঘটিত লবণ সেবনে এই রোগ নিরাময় হয়।

2. প্রাণিদেহে হিমোগ্লোবিনের মতই অন্য কয়েকটি শ্বসন-সহায়ক রঙ্গক বা শ্বাসরঙ্গকের (respiratory pigment) অণুও হিম নামক লৌহ-পরফিরিন যৌগের সহিত ভিন্ন ভিন্ন প্রোটিনের মিলনে সৃষ্ট হয় : যথা, পেশীতে অক্সিজেন-সঞ্চয়কারী মায়োগ্লোবিন এবং জীবিত প্রাণিকোষের শ্বসন-সহায়ক রঙ্গক সাইটোক্রোম।

3. ক্যাটালেজ, পার-অক্সিডেজ, সাইটোক্রোম অক্সিডেজ প্রভৃতি বহু শ্বসন-সহায়ক (respiratory) এনজাইমের অণু হিম নামক লৌহ-পরফিরিন যৌগ ও ভিন্ন ভিন্ন প্রোটিনের মিলনে গঠিত। ইহাদের **হিম এনজাইম** বলে।

4. কয়েকটি পরফিরিনবিহীন শ্বসন-সহায়ক এনজাইমের অণুতেও লৌহ বর্তমান ; ঐ সকল যৌগের লৌহকে **হিম-বির্‌হিত বা হিম-ইতর লৌহ** (non-heme iron) বলে। যথা, মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় এন-এ-ডি-এইচ (NADH) ডিহাইড্রোজেনেজ এবং অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ এনজাইমের অণুর প্রোটিনেতর (prosthetic) বর্গ লৌহ ও রাইবোফ্ল্যাভিন-ঘটিত যৌগের মিলনে গঠিত ; অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্সের মাইক্রোজোমে বর্তমান ইলেকট্রন-বাহক অ্যাড্রেনোডক্সিনের অণুর প্রোটিনেতর বর্গ লৌহ-গন্ধক যৌগের দ্বারা গঠিত।

উপরি-উক্ত নানাপ্রকার লৌহ-ঘটিত যৌগ প্রাণিদেহে অক্সিজেন পরিবহনে, কোষমধ্যে অক্সিজেন সঞ্চয়ে এবং নানা বস্তুর জারণের (oxidation) সময়ে তাহাদের অণু হইতে অপসৃত ইলেকট্রনকে বহন করিয়া আণব অক্সিজেনে (molecular O_2) যুক্ত করিতে সাহায্য করে।

দেহমধ্যে লৌহের অবস্থিতি : প্রাপ্তবয়স্ক মানবদেহে মোট প্রায় 5 গ্রাম লৌহ বর্তমান। ইহার প্রায় $\frac{3}{4}$ অংশ লৌহ-পরফিরিন যৌগরূপে নানা অণুতে

থাকে—মোট লৌহের প্রায় 65% হিমোগ্লোবিনে, প্রায় 5% মায়োগ্লোবিনে এবং প্রায় 0.2% হিম এনজাইমগুলিতে বর্তমান। হিমোগ্লোবিন অণুতে চারটি ফেরাস্ আয়নের আকারে লৌহ থাকে। মোট লৌহের অবশিষ্ট $\frac{1}{4}$ অংশ হিম-ইতর লৌহ (non-heme iron or NHI) রূপে বিভিন্ন প্রোটিন-যোগে থাকে; যথা, দেহের প্রায় 15-20% লৌহ ফেরিটিন (ferritin), হিমোসাইডেরিন (hemosiderin) প্রভৃতি লৌহ-প্রোটিন যোগের আকারে প্রধানতঃ যকৃতে এবং কিছু পরিমাণে প্লীহা (spleen), মজ্জা (bone marrow) ও ক্ষুদ্রান্ত্রের গাত্রে সঞ্চিত থাকে। **ফেরিটিন** অণুতে ফেরিক হাইড্রক্সাইড ও ফেরিক ফস্‌ফেট দিয়া গঠিত কণা বা মিসেল (micelle) অ্যাপোফেরিটিন নামক জল-দ্রাব্য প্রোটিনের সহিত যুক্ত থাকে; **হিমোসাইডেরিন** ফেরিক হাইড্রক্সাইড কণার সহিত প্রোটিনের মিলনে গঠিত বৃহদণু অদ্রাব্য লৌহ-প্রোটিন যোগ। ফেরিটিন ও হিমোসাইডেরিন অণুর যথাক্রমে প্রায় 23% ও 35% লৌহ। ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে ফেরিটিন ব্যতীত অপর একপ্রকার লৌহ-প্রোটিন যোগ অথবা লৌহ-চেলেট (iron chelate) সাইটোপ্লাজমে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে; ইহাকে **লৌহ-বাহক ভাণ্ডার** (carrier iron pool) বলে এবং ইহা ক্ষুদ্রান্ত্রে খাদ্য হইতে লৌহের শোষণ নিয়ন্ত্রণ করে।

রক্তরসে লৌহ প্রধানতঃ অ্যাপোট্রান্সফেরিন নামক বিটা-গ্লোবিউলিন জাতীয় প্রোটিনের সহিত মিলিয়া **ট্রান্সফেরিন** নামক ফেরিক আয়ন-প্রোটিন যোগের আকারে বাহিত হয়; এভাবে প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তে সাধারণতঃ প্রায় 80-180 মাইক্রোগ্রাম ফেরিক আয়ন প্রোটিনাবদ্ধ লৌহের (protein-bound iron) আকারে বাহিত হয়; অল্পস্বল্প লৌহ মুক্ত ফেরাস আয়নরূপেও রক্তরসে থাকে। 100 মিলিলিটার রক্তে মোট লৌহের পরিমাণ প্রায় 50 মিলিগ্রাম; ইহার 98% ফেরাস আয়নরূপে লোহিত কণিকার হিমোগ্লোবিনে বর্তমান।

শোষণ, সঞ্চয় ও পরিণাম: খাদ্যের অজৈব লবণের লৌহ সহজেই শোষিত হয়, কিন্তু ফেরিক ফসফেট, ফেরিক ফাইটেট, ফেরিক অক্সালেট প্রভৃতি অদ্রাব্য লৌহ-যোগ অথবা হিমোগ্লোবিনের মত জৈব যোগের লৌহ বড় একটা শোষিত হয় না। পাকস্থলীতে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের প্রভাবে লৌহ-যোগ হইতে ফেরিক আয়ন মুক্ত হইয়া যায় এবং খাদ্যের গ্লুটাথিওন, ভিটামিন সি প্রভৃতির প্রভাবে বিজারিত (reduced) হইয়া উহা ফেরাস আয়নে পরিণত হয়। শেষোক্ত আয়ন পাকস্থলী, গ্রহণী ও মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রথমাংশ হইতে সহজেই শোষিত হয় এবং ক্ষুদ্রান্ত্রের আবরক কোষগুলির মধ্যে আবার জারিত হইয়া ফেরিক আয়নের আকারে বিভিন্ন যোগে প্রবেশ করে।

শোষিত লৌহ প্রথমতঃ ক্ষুদ্রান্ত্রের কোষমধ্যে লৌহবাহক ভাণ্ডারের (carrier iron pool) প্রোটিন অণুগুলিতে লৌহ-প্রোটিন যৌগ বা লৌহ-চেলেটের আকারে যুক্ত হয় এবং ঐ লৌহবাহকের অণু হইতেই ক্রমশঃ লৌহ ফেরিটিন অণুতে স্থানান্তরিত হইতে পারে। সুতরাং ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে লৌহ শোষণের মাত্রা উক্ত লৌহবাহক অণুগুলিতে যুক্ত লৌহের পরিমাণের উপরে নির্ভর করে—দেহে পর্যাপ্ত লৌহ থাকিলে শেষোক্ত অণুগুলি লৌহে সংপৃক্ত থাকায় অন্ত্র হইতে লৌহের শোষণ কমিয়া যায়।

ক্ষুদ্রান্ত্রের আবরক কোষে শোষিত লৌহ অচিরেই ফেরিক আয়নের আকারে অ্যাপোফেরিটিন অণুতে যুক্ত হয়; ফলে **ফেরিটিন** নামক লৌহ-প্রোটিন যৌগ উৎপন্ন হইয়া ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রে সঞ্চিত থাকে।

ক্ষুদ্রান্ত্রের লৌহবাহক অণু অথবা ফেরিটিন হইতে প্রয়োজনমত ফেরিক আয়ন এনজাইমের সাহায্যে বিজারিত হইয়া মুক্ত ফেরাস আয়নের আকারে রক্তরসে প্রবেশ করে। রক্তরসে ফেরাস আয়ন প্রধানতঃ **সিরাম ফেরো-অক্সিডেজ বা সেরুলোপ্লাজমিন** (serum ferroxidase or ceruloplasmin) নামক তাম্র-প্রোটিন যৌগের ক্রিয়ায় পুনর্বার জারিত হইয়া ফেরিক আয়নে পরিণত হয় এবং উহা **ট্রান্সফেরিন** নামক লৌহ-প্রোটিন যৌগের আকারে রক্তরসে বাহিত হয়।

লোহিত মজ্জায় বিকাশমান লোহিত রক্তকণিকাগুলি রক্তরসের ট্রান্সফেরিন হইতে ফেরিক আয়ন সংগ্রহ করিয়া উহাকে ফেরাস আয়নের আকারে হিমো-গ্লোবিন অণুতে সন্নিবেশিত করে। যকৃত, প্লীহা প্রভৃতির কোষগুলিও ট্রান্সফেরিন হইতে লৌহ সংগ্রহ করিয়া ফেরিটিন ও হিমোসাইডেরিন নামক ফেরিক-প্রোটিন যৌগরূপে সঞ্চিত রাখে; খাদ্য হইতে শোষিত লৌহ ব্যতীত দেহে হিমোগ্লোবিনের ভাঙ্গনের ফলে মুক্ত লৌহও এভাবে সঞ্চিত হয়। প্রয়োজনমত যকৃত, প্লীহা প্রভৃতির কোষে ফেরিটিন রিডাক্টেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ফেরিটিনের ফেরিক আয়ন বিজারিত হইয়া মুক্ত ফেরাস আয়নরূপে রক্ত-রসে প্রবেশ করে এবং আবার ফেরিক আয়নে পরিণত ও ট্রান্সফেরিন অণুতে যুক্ত হইয়া লোহিত মজ্জা প্রভৃতিতে বাহিত হয়। দেহে প্রত্যহ প্রায় 21 মিলি-গ্রাম লৌহ হিমোগ্লোবিন উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়; তন্মধ্যে মাত্র 1 মিলিগ্রাম খাদ্য হইতে সদ্য-আহৃত লৌহ এবং অবশিষ্ট প্রায় 20 মিলিগ্রাম দেহে হিমোগ্লোবিন ও অন্যান্য লৌহ-যৌগের বিপাকের ফলে মুক্ত ও যকৃত বা প্লীহায় সঞ্চিত লৌহ হইতে আসে।

খাদ্যে **অত্যধিক লৌহ ও অল্প ফসফেট থাকিলে অথবা বংশগত কারণে রক্তনাশজনিত রক্তাল্পতা** (hemolytic anemia) **হইলে** যকৃত, অগ্ন্যাশয়, প্লীহা, ত্বক প্রভৃতি **কলায়** প্রভূত লৌহ জমিয়া গিয়া ঐ সকল অঙ্গের ক্রিয়া ব্যাহত হইতে পারে। এভাবে বিভিন্ন কলায় লৌহ জমিয়া যাওয়াকে **সিডেরোসিস্** (siderosis) বলে। আবার বংশগত কারণে অন্ত্র হইতে লৌহের শোষণ অস্বাভাবিক বৃদ্ধি পাইলেও যকৃত, প্লীহা, ত্বক প্রভৃতি কলায় অত্যধিক লৌহ জমিয়া যায়; ইহাকে **হিমোক্রোম্যাটোসিস্** (hemochromatosis) বলে এবং এই অবস্থায় যকৃত ও অগ্ন্যাশয়ের কর্মহানি, ত্বকে লৌহাধিক্যজনিত বাদামীবর্ণ, রক্তে গ্লুকোজের মাত্রাধিক্য, মূত্রে গ্লুকোজের আবির্ভাব প্রভৃতি দেখা দেয়।

সাধারণতঃ দিনে মাত্র 100 মাইক্রোগ্রামেরও কম লৌহ মূত্রে বাহির হয়, কারণ রক্তরসে লৌহ প্রধানতঃ বৃহদণু ট্রান্সফেরিনের আকারে বাহিত হওয়ায় রক্ত হইতে অধিক লৌহ পরিস্রুত হইয়া মূত্রে আসিতে পারে না।

16.8 তামা

উৎস : ডিম, ডাল, যকৃত বা মেটে, গুগলি, সয়াবিন, শাকসবজি।

দৈনিক খাদ্যে প্রয়োজনীয় পরিমাণ : 1.5-2.5 মিলিগ্রাম।

ক্রিয়া :

1. রক্তরসের **সিরাম ফেরো-অক্সিডেজ বা সেরুলোপ্লাজমিন** (serum ferroxidase or ceruloplasmin) নামক একটি তাম্র-প্রোটিন এনজাইমের ক্রিয়ায় ফেরাস আয়ন জারিত হইয়া ফেরিক আয়নে পরিণত হয় এবং তাহার ফলে রক্তরসে লৌহ ট্রান্সফেরিন রূপে বাহিত হইতে পারে। এভাবে তামা বিভিন্ন কলায় লৌহের সরবরাহ অক্ষুণ্ণ রাখিয়া নানা লৌহ-যৌগে তাহার সন্নিবেশে সাহায্য করে। খাদ্যে তামার অভাবে লৌহাভাবজনিত রক্তাল্পতার মতই রক্তাল্পতা জন্মায়; এই অবস্থায় যকৃত ও প্লীহায় পর্যাপ্ত লৌহ সঞ্চিত থাকিলেও লোহিত কণিকা ও হিমোগ্লোবিনের উৎপাদন ব্যাহত হয়, অথচ সামান্য তামা সেবনেই অবস্থার পরিবর্তন ঘটে এবং রক্তাল্পতা নিরাময় হয়। ইহা হইতেই হিমোগ্লোবিন সংশ্লেষণে লৌহের ব্যবহারে তামার সহায়তার প্রমাণ পাওয়া যায়।

2. কবচী প্রাণীর (Crustacea) রক্তে হিমোগ্লোবিনের পরিবর্তে **হিমোসায়ানিন** (hemocyanin) নামক তাম্র-প্রোটিন যৌগটি শ্বাসরঙ্গক (respiratory pigment) রূপে অক্সিজেন বহন করে।

3. সকল কোষের মাইটোকনড্রিয়ায় সাইটোক্রোম অক্সিডেজ, রক্তরসে সিরাম ফেরো-অক্সিডেজ, যকৃত-কোষ ও লোহিত কণিকার সাইটোপ্লাজমে সুপার-অক্সাইড ডিস্‌মিউটেজ, যকৃতের ইউরিকেজ, ত্বকের টাইরোসিনেজ প্রভৃতি বহু এনজাইমের অণুতে তামা বর্তমান।

4. সম্ভবতঃ নার্ভকলায় পার-অক্সাইডের বিষক্রিয়া নিবারণ করিয়া **সুপার-অক্সাইড ডিস্‌মিউটেজ** নামক তাম্র-দস্তা ঘটিত এনজাইমটি নার্ভতন্তুর মায়ালিন আচ্ছাদনীকে স্বাভাবিক রাখে।

শোষণ, সঞ্চয় ও পরিণাম : ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত তামা রক্তরসে প্রবেশ করিয়া প্রথমে অ্যালবুমিন-জাতীয় প্রোটিনের সহিত যুক্ত হইয়া যায়, কিন্তু অচিরেই ঐ তামার প্রায় 95% যকৃতে উক্ত যৌগ হইতে অপসৃত হইয়া সেরুলো-প্লাজমিন নামক অ্যালফা-গ্লোবিউলিনের অণুতে যুক্ত হয় এবং শেষোক্ত আকারেই রক্তরসে বাহিত হইতে থাকে। উক্ত সেরুলোপ্লাজমিন নামক তাম্র-প্রোটিন যৌগটি রক্তরসে ফেরো-অক্সিডেজ (serum ferroxidase) নামক লৌহ-জারক (iron oxidizing) এনজাইমরূপে কাজ করে। প্রতি 100 মিলিলিটার রক্ত-রসে প্রায় 90 মাইক্রোগ্রাম তামা সেরুলোপ্লাজমিন আকারে থাকে। রক্তরসে সেরুলোপ্লাজমিন ব্যতীত ফেরো-অক্সিডেজ II নামক দ্বিতীয় একটি তাম্র-প্রোটিন যৌগও অল্প পরিমাণে পাওয়া যায়। পক্ষান্তরে প্রতি 100 মিলিলিটার ঘনসন্নিবিষ্ট (packed) লোহিত কণিকায় গড়ে প্রায় 100 মাইক্রোগ্রাম তামা মুখ্যতঃ সুপার-অক্সাইড ডিস্‌মিউটেজ নামক তাম্র-দস্তা ঘটিত এনজাইমরূপে বর্তমান। শেষোক্ত এনজাইম ও সেরুলোপ্লাজমিনের প্রত্যেক অণুতে যথাক্রমে 2টি এবং 8টি তাম্র আয়ন থাকে। প্রাপ্তবয়স্ক মানবদেহে 100-120 মিলিগ্রাম তামা আছে। ইহার মধ্যে প্রায় 18 মিলিগ্রাম তামা যকৃতে, প্রায় সমপরিমাণে অস্থিতে এবং প্রায় 55 মিলিগ্রাম তামা পেশীতে তাম্র-প্রোটিন যৌগের আকারে থাকে। এই যৌগটি প্রধানতঃ সাইটোপ্লাজমে সুপার-অক্সাইড ডিস্‌মিউটেজ এনজাইমরূপে বর্তমান। পিত্ত ও মূত্রে অল্পস্বল্প তামা রেচিত হয়।

উইলসন-বর্ণিত রোগ (Wilson's disease) নামক বংশগত ব্যাধিতে সম্ভবতঃ সেরুলোপ্লাজমিনের সংশ্লেষণ বা ক্রিয়া ব্যাহত হইয়া অথবা তামার শোষণ অস্বাভাবিক বৃদ্ধি পাইয়া রক্তরসে মুক্ত তাম্র আয়ন ও তাম্র-অ্যালবুমিন যৌগের মাত্রাধিক্য এবং সেরুলোপ্লাজমিনের মাত্রাল্পতা ঘটে। যকৃত, বৃক্ক, অগ্ন্যাশয়, চোখের অচ্ছোদপটল (cornea), মস্তিষ্কের লেণ্টিকুলার নিউক্লিয়াস প্রভৃতিতে অত্যধিক তাম্র-যৌগ জমিয়া গিয়া এসকল কলা ক্ষতিগ্রস্ত হয় ; রক্তে

গ্লুকোজের মাত্রাধিক্য, মূত্রে গ্লুকোজ ও অত্যধিক তাম্রের রেচন, যকৃতের মারাত্মক বিকার (cirrhosis) ও ন্যাবা, অচ্ছোদপটলের পরিধির কাছে বাদামী বলয়ের আকারে তামার অবক্ষেপণ (deposition), পেশীসঞ্চালনের অস্বাভাবিকতা প্রভৃতি দেখা দেয় এবং পরিণামে যকৃতের ক্রিয়া লোপ পাইয়া মৃত্যু ঘটে।

16.9 কোবাল্ট

উৎস : খাদ্যে কোবাল্ট-ঘটিত অজৈব লবণ এবং কোবাল্যামিন নামক একটি কোবাল্ট-ঘটিত বি-বর্গীয় ভিটামিনের আকারে কোবাল্ট থাকে।

ক্রিয়া :

1. লোহিত কণিকার উৎপাদন ও স্বাভাবিক বিকাশের জন্য কোবাল্ট অপরিহার্য। কুকুর, মুরগি, ইঁদুর, শূকর, মানুষ প্রভৃতিকে অতিরিক্ত কোবাল্টাস্ ক্লোরাইড বা কোবাল্ট সালফেট সেবন করাইলে লোহিত কণিকার অস্বাভাবিক সংখ্যাধিক্য ঘটে (**রক্তকণিকাধিক্য,** polycythemia)। অন্যদিকে কোবাল্ট-বিহীন গোচারণক্ষেত্রে দীর্ঘকাল চরিলে গোমহিষাদি প্রাণীর দেহে লোহিত কণিকার বিকাশ ব্যাহত হয়, ফলে রক্তে নিউক্লিয়াসযুক্ত অতিকায় লোহিত কণিকার আবির্ভাব ঘটিয়া রক্তাল্পতা (macrocytic anemia) দেখা দেয়; কোবাল্ট-লবণ বা কোবাল্যামিন সেবনে ইহা নিরাময় হয়। কোবাল্ট নানাভাবে লোহিত কণিকার উৎপাদনে সাহায্য করে : (*i*) হিমোগ্লোবিনের পরফিরিন অংশ সংশ্লেষণের জন্য অপরিহার্য অ্যাম্লেভ সিন্থেজ (AmLev synthase) এনজাইমটির ক্রিয়ায় কোবাল্ট আয়ন সাহায্য করিতে পারে। (*ii*) কোবাল্ট বৃক্কে বিশেষ একটি এনজাইমের (renal erythropoietic factor) উৎপাদন বাড়ায় এবং উক্ত এনজাইমের ক্রিয়ায় রক্তরসের গ্লোবিউলিন হইতে এরিথ্রোপোয়েটিন (erythropoietin) নামক গ্লাইকোপ্রোটিনের উদ্ভব ঘটে; শেষোক্ত বস্তুটি লোহিত কণিকার উৎপাদন বাড়ায়। (*iii*) খাদ্যের কোবাল্ট আয়নের সাহায্যে অন্ত্রে জীবাণুর ক্রিয়ায় কোবাল্যামিন বা ভিটামিন বি$_{12}$ সংশ্লেষিত হয়—কোবাল্ট উক্ত ভিটামিনের অপরিহার্য অংশ এবং ঐ ভিটামিনটি দেহে লোহিত কণিকার বিকাশ ও সুপরিণতির জন্য অপরিহার্য।

2. অ্যাম্লেভ্ সিন্থেজ, আন্ত্রিক রসের গ্লাইসিল-গ্লাইসিন ডাইপেপ্‌টাইডেজ প্রভৃতি কয়েকটি এনজাইমের ক্রিয়ার জন্য কোবাল্টের প্রয়োজন হয়। বিভিন্ন কোবাল্যামিন-ঘটিত কোএনজাইমের অণুতেও কোবাল্ট বর্তমান।

16.10 দস্তা

উৎস : লেটুস, পালং, যকৃত বা মেটে, ডিম, কয়েকটি সামুদ্রিক প্রাণীর মাংস, গম।

দৈনিক খাদ্যে প্রয়োজনীয় পরিমাণ : 15-25 মিলিগ্রাম।

ক্রিয়া :

1. লোহিত কণিকা, পাকস্থলীর প্যারায়েটাল কোষ এবং বৃক্কের টিবিউল-কোষের কার্বনিক অ্যান্‌হাইড্রেজ, যকৃত-কোষ ও লোহিত কণিকার সাইটো-প্লাজমে সুপার-অক্সাইড ডিস্‌মিউটেজ, অক্ষিপটের (retina) রেটিনিন রিডাকটেজ, অগ্ন্যাশয়-রসের কার্বক্সিপেপ্‌টাইডেজ এ, আন্ত্রিক রসের লিউসিন অ্যামাইনোপেপ্‌টাইডেজ, ঈস্ট কোষের অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজেনেজ প্রভৃতি বহু এনজাইমের অণুতে দস্তা অপরিহার্যভাবে বর্তমান।

2. কোনও কোনও পরীক্ষার ফল হইতে মনে হয় যে, অগ্ন্যাশয়ের ইনসুলিন নামক হর্মোনটির সঞ্চয় ও ক্ষরণে দস্তার কিছু ভূমিকা থাকিতে পারে।

3. প্রস্টেট, এপিডিডাইমিস প্রভৃতি পুং-জননাঙ্গের রসে এবং সুপরিণত শুক্রাণুতে (spermatozoa) দস্তার অস্তিত্ব প্রমাণিত হইয়াছে; তাহা ছাড়া দস্তার অভাবে পাখির ডিম হইতে বিকলাঙ্গ পক্ষিশাবকের জন্ম হয়, ইঁদুরের জনন-ক্রিয়া ব্যাহত হয় এবং মানবদেহে শুক্রাশয়ের (testis) আয়তন ও ক্রিয়া অস্বাভাবিক কমিয়া যায়। ইহা হইতে জননতন্ত্রের ক্রিয়ায় দস্তার ভূমিকার ইঙ্গিত পাওয়া যায়।

4. সম্ভবতঃ দেহের বৃদ্ধি ও ত্বকের স্বাস্থ্যের জন্যও দস্তার প্রয়োজন। দস্তার অভাবে ইঁদুরের ত্বকে ক্ষত, লোমবিরলতা ও দৈহিক ওজনের অবনতি, পাখির ত্বকে চর্মরোগ ও পালকের অস্বাভাবিকতা, মানবশিশুর বৃদ্ধিহ্রাস ও বামনত্ব ঘটিয়া থাকে।

শোষণ, সঞ্চয় ও রেচন : ক্ষুদ্রান্ত্রের প্রথমার্ধ হইতে শোষণের পরে দস্তা প্রধানতঃ যকৃতে এবং কিছু পরিমাণে অগ্ন্যাশয়, অস্থি, প্লীহা প্রভৃতিতে সঞ্চিত থাকে। 100 মিলিলিটার রক্তরসে দস্তার পরিমাণ গড়ে প্রায় 120 মাইক্রোগ্রাম। রক্তরসে, লোহিত কণিকায় ও শ্বেত কণিকায় ভিন্ন ভিন্ন দস্তা-প্রোটিন যৌগ বর্তমান। মূত্র, অগ্ন্যাশয় ও ক্ষুদ্রান্ত্রের রস, শুক্র (semen) প্রভৃতির সহিত দস্তা বাহির হইয়া যায়।

16.11 ম্যাংগানিজ

উৎস : যকৃত বা মেটে, বৃক্ক, বাদাম, চা প্রভৃতি।

দৈনিক প্রয়োজনীয় পরিমাণ : সম্ভবতঃ 3 মিলিগ্রাম।

ক্রিয়া :

1. পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, অ্যাসেটাইল-কো এ কার্বক্সিলেজ, মাইটোকন্ড্রিয়ার সুপার-অক্সাইড ডিস্‌মিউটেজ প্রভৃতি নানা এনজাইমের প্রোটিনেতর (prosthetic) বর্গে ম্যাংগানিজ বর্তমান। আইসোসাইট্রেট ডিহাইড্রোজেনেজ, লিউসিন অ্যামাইনোপেপ্‌টাইডেজ, অ্যাম্‌লেভ্‌ সিন্‌থেজ, কোলিনেস্টারেজ, আর্জিনেজ, নানা প্রকার ফসফাটেজ প্রভৃতি এনজাইমকে ম্যাংগানিজ আয়ন সক্রিয় করিয়া তোলে অথবা তাহাদের ক্রিয়া বর্ধিত করে ; কয়েকটি ক্ষেত্রে ম্যাংগানিজ, ম্যাগনেসিয়াম ও কোবাল্ট পরস্পরের পরিবর্তে কাজ করিতে পারে।

2. বন্ধ্যাত্ব (sterility) নিবারণে ও জননতন্ত্রের স্বাভাবিকতা রক্ষায় ম্যাংগানিজের ভূমিকা থাকিতে পারে, কারণ ইহার অভাবে গোমহিষ ও ইঁদুরের জননচক্রে (reproductive cycle) ও গর্ভধারণে ব্যাঘাত, শুক্রাশয় ও ডিম্বাশয়ের কলার বিনাশ এবং বন্ধ্যাত্ব দেখা দেয়।

3. অস্থির ধাত্র বা জমিতে মিউকোপলিস্যাকারাইডের অবক্ষেপণকে (deposition) প্রভাবিত করিয়া ম্যাংগানিজ অস্থির উৎপাদন ও আকারকে স্বাভাবিক রাখিতে সাহায্য করে। ইহার অভাবে অস্থির আকারে বিকৃতি ঘটিয়া শূকর খোঁড়া হইয়া যায় এবং মুরগির গোড়ালির কণ্ডরা (tendon) স্থানচ্যুত হয় (**কণ্ডরাস্খলন**, perosis)।

4. শম্বুক পর্বের (Mollusca) কয়েকটি প্রাণীর রক্তে ম্যাংগানিজ-যৌগ শ্বাসরঙ্গক (respiratory pigment) রূপে অক্সিজেন বহন করে।

5. হিমোগ্লোবিন সংশ্লেষণের জন্য অপরিহার্য অ্যাম্‌লেভ্‌ সিন্‌থেজের ক্রিয়ায় কোবাল্ট আয়নের পরিবর্তে ম্যাংগানিজ আয়নও সাহায্য করিতে পারে। সম্ভবতঃ এজন্যই ইঁদুরের খাদ্যে ম্যাংগানিজের অভাব থাকিলে তাহার রক্তে হিমোগ্লোবিন কমিয়া যায়।

শোষণ, সঞ্চয় ও পরিণাম : ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত ম্যাংগানিজ রক্তে প্রধানতঃ দুইভাবে বাহিত হয়—রক্তরসে **ট্রান্সম্যাংগানিন** নামক ম্যাংগানিজ-গ্লোবিউলিন যৌগ এবং লোহিত রক্তকণিকায় ম্যাংগানিজ-পরফিরিন-প্রোটিন

যৌগ। 100 মিলিলিটার রক্তে গড়ে প্রায় 2.5 মাইক্রোগ্রাম ম্যাংগানিজ থাকে। দেহের শুষ্ক ওজনের মাত্র 0.001% ম্যাংগানিজ। যকৃত ও বৃক্কে ম্যাংগানিজ-প্রোটিন যৌগ সঞ্চিত থাকে। কোষমধ্যে মাইটোকনড্রিয়ায় উল্লেখ-যোগ্য পরিমাণে ম্যাংগানিজ আছে। যকৃত-কোষগুলি রক্ত হইতে কিছু ম্যাংগানিজ অপসারণ করিয়া পিত্তে রেচন করে এবং তাহা মলে বাহির হয়।

16.12 ফ্লোরিন

উৎস : পানীয় জল, সামুদ্রিক মাছ প্রভৃতি।

ক্রিয়া : প্রাণিদেহে বেশি ফ্লোরিন প্রবেশ করিলে তাহার বিষক্রিয়ায় দেহের বৃদ্ধি কমিয়া যায়, অস্থি ও দন্তে ক্যালসিয়ামের অবক্ষেপণ (deposition) বিপর্যস্ত হইয়া তাহাদের বৃদ্ধি, গঠন ও ক্রিয়া ব্যাহত হয়, পেশী ও অন্যান্য কলায় ম্যাগনেসিয়াম-নির্ভর এনজাইমগুলি নিষ্ক্রিয় হইয়া পড়ে, স্থায়ী দন্তের উদগমে ব্যাঘাত ঘটে, রক্তে হিমোগ্লোবিন কমিয়া যায় এবং তীব্র আর্থ্রাইটিস দেখা দেয়। অন্যদিকে যৎসামান্য পরিমাণে ফ্লোরিন অন্ততঃ দুইটি ক্রিয়ায় সাহায্য করে :

1. অস্থি, দাঁতের এনামেল ও দন্তাস্থিতে (dentine) সামান্য পরিমাণে ফ্লোরিন ক্যালসিয়াম-ঘটিত অ্যাপাটাইট লবণগুলিতে যুক্ত হইয়া থাকে। সেজন্য খাদ্য বা পানীয়ে অত্যল্প ফ্লোরিন থাকিলে তাহা দন্ত ও অস্থিতে ঐজাতীয় লবণ উৎপাদনে অংশগ্রহণ করিয়া ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের অবক্ষেপণে (deposition) সাহায্য করে।

2. আহার্য ও পানীয়ের প্রায় 10 লক্ষ ভাগে এক ভাগের মত ফ্লোরিন থাকিলে দাঁতের 'পোকা-ধরা' বা দন্তক্ষয় রোগ (caries) নিবারিত হয় এবং দাঁতের এনামেলের গঠন ও কাঠিন্য অব্যাহত থাকে। বিশ্বের যেসকল অঞ্চলের পানীয় জলে ফ্লোরিনের পরিমাণ ঐ তুলনায় অর্ধেক বা তাহারও কম, সেসকল স্থানে দন্তক্ষয় রোগের উল্লেখযোগ্য প্রকোপ দেখা যায়; ব্যবহার্য জলে অল্প পরিমাণে ফ্লোরাইড লবণ মিশাইয়া দিলে অথবা দাঁতে উক্ত লবণের দ্রবণ লাগাইলে ঐ রোগের প্রকোপ নিবারিত হয় (**দন্তক্ষয়-নিবারক ক্রিয়া**, cariostatic action)। অন্যদিকে যেসকল অঞ্চলে জলের 10 লক্ষ ভাগে 1.2 ভাগের বেশি ফ্লোরিন থাকে, সেখানে দাঁতে 'পোকা-ধরা' বেশ বিরল; কিন্তু ঐ অঞ্চলের বহু বালকবালিকার দাঁতের এনামেল ফ্লোরিনের আধিক্যবশতঃ বিবর্ণ, অমসৃণ ও অসমতল হইয়া পড়ে এবং তাহার গায়ে স্তরে স্তরে ছাপ পড়ে (mottling of enamel)।

16.13 আয়োডিন

উৎস : সামুদ্রিক মাছ ও তাহার তৈল, শামুক, গুগলি, সামুদ্রিক বা সমুদ্রোপকূলবর্তী অঞ্চলের উদ্ভিদ—বিশেষতঃ পিঁয়াজ ও ওয়াটারক্রেশ, পানীয় জল এবং আয়োডাইড-মিশ্রিত আহার্য লবণ।

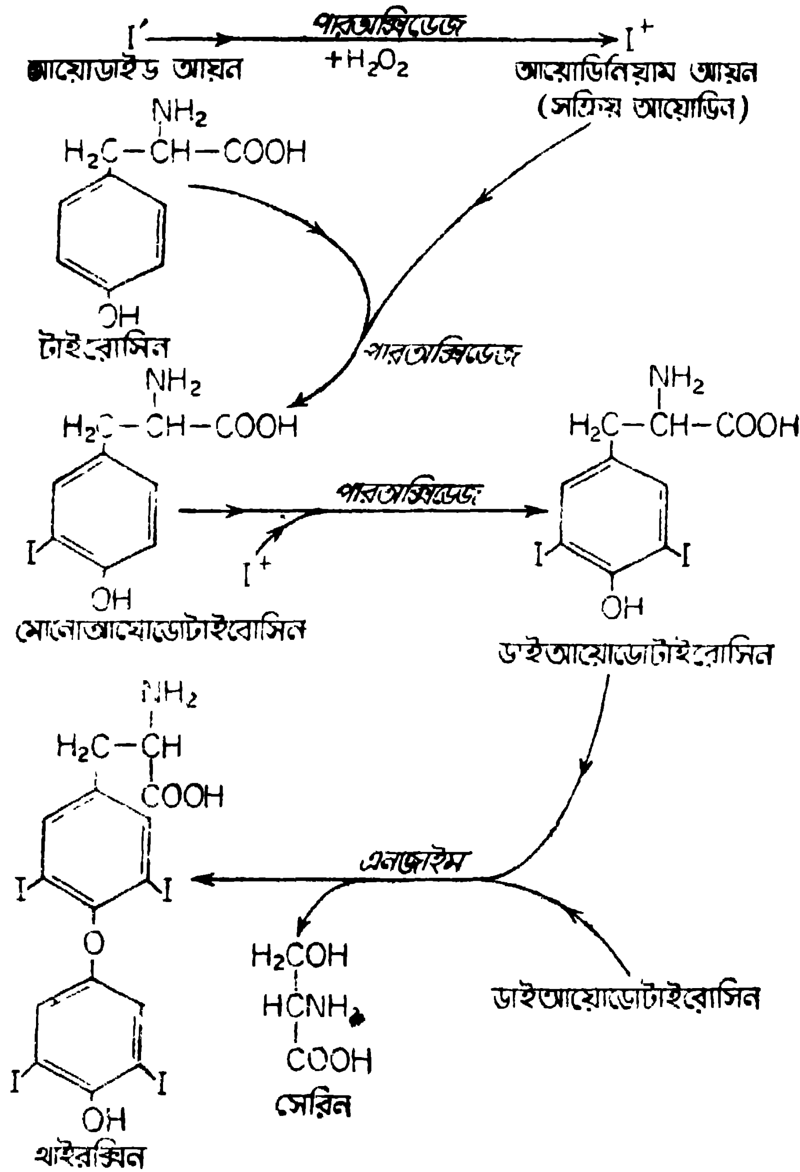
দৈনিক খাদ্যে প্রয়োজনীয় পরিমাণ : প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ : 140 মাইক্রোগ্রাম ; প্রাপ্তবয়স্কা নারী : 100 মাইক্রোগ্রাম ; গর্ভবতী নারী : 125 মাইক্রোগ্রাম ; স্তনদাত্রী নারী : 150 মাইক্রোগ্রাম ; বয়ঃপ্রাপ্তির সময়ে : প্রাপ্তবয়স্কের তুলনায় 10 মাইক্রোগ্রাম অধিক।

ক্রিয়া : আয়োডিন থাইরয়েড গ্রন্থির হর্মোনগুলির সংশ্লেষণের (synthesis) জন্য অপরিহার্য—থাইরক্সিন ও ট্রাইআয়োডোথাইরোনিনের অণুতে যথাক্রমে 4টি ও 3টি আয়োডিন পরমাণু থাকে। খাদ্যে আয়োডিনের অভাব ঘটিলে থাইরয়েডের উক্ত হর্মোনগুলির ক্ষরণ হ্রাস পায়, রক্তে প্রোটিনাবদ্ধ আয়োডিনের (protein-bound iodine or PBI) পরিমাণ স্বাভাবিকের প্রায় অর্ধেক হইয়া যায়, দেহে থাইরয়েডের অভাবজনিত রোগ-লক্ষণ দেখা দেয় এবং থাইরয়েডের আয়তন বাড়িয়া গলগণ্ড (goiter) সৃষ্ট হয়। সমুদ্র হইতে দূরে, যথা হিমালয় বা আল্পসের পার্বত্য অঞ্চলে মাটিতে আয়োডিন কম থাকায় খাদ্য ও পানীয়েও আয়োডিনের স্বল্পতা থাকে, ফলে এসকল অঞ্চলে আয়োডিন-হীনতাজনিত গলগণ্ডের (iodine-deficiency goiter) প্রবণতা অধিক। আহার্য লবণে অতিরিক্ত আয়োডাইড মিশাইয়া এই রোগ নিবারণ করা যায়।

শোষণ, সঞ্চয় ও পরিণাম : প্রাপ্তবয়স্ক মানবদেহে মোট প্রায় 50 মিলিগ্রাম আয়োডিন থাকে। দিনে প্রায় 150-200 মাইক্রোগ্রাম অজৈব আয়োডাইড ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হইয়া রক্তে আসে। থাইরয়েড গ্রন্থির কোষগুলি সক্রিয়ভাবে রক্তরস হইতে আয়োডাইড সংগ্রহ করিয়া সঞ্চয় করিয়া রাখে এবং থাইরয়েডের হর্মোনগুলির সংশ্লেষণে ব্যবহার করে—আয়োডিনের মুখ্য সঞ্চয়কেন্দ্র থাইরয়েডে প্রায় 10-12 মিলিগ্রাম আয়োডিন সঞ্চিত থাকে। রক্তরস অপেক্ষা থাইরয়েড কোষে আয়োডাইডের গাঢ়তা অধিক থাকিলেও উক্ত কোষগুলি **আয়োডাইড পাম্প** নামক এক বহনপদ্ধতির মাধ্যমে ও শক্তি ব্যয় করিয়া রক্তরস হইতে দিনে প্রায় 70 মাইক্রোগ্রাম অজৈব আয়োডাইড সংগ্রহ করিয়া লয়।

থাইরয়েড কোষে আয়োডিন পার্-অক্সিডেজ নামক এনজাইমের ক্রিয়ায় অজৈব আয়োডাইড জারিত (oxidized) হইয়া 'সক্রিয় আয়োডিনে' পরিণত

হয় এবং তাহার দুইটি বা একটি আয়ন টাইরোসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডে যুক্ত হইয়া যথাক্রমে ডাইআয়োডোটাইরোসিন ও মোনোআয়োডোটাইরোসিন উৎপন্ন করে (চিত্র 16.3) অতঃপর দুই অণু ডাইআয়োডোটাইরোসিনের মিলনে থাইরক্সিন, অথবা ডাই- ও মোনো-আয়োডোটাইরোসিনের একটি



চিত্র 16 3. আয়োডিনের সাহায্যে থাইরক্সিনের সংশ্লেষণ।

করিয়া অণুর মিলনে ট্রাইআয়োডোথাইরোনিন সংশ্লেষিত হয়। থাইরয়েডের কোষ্ঠকগুলির (alveoli) বিবরে কলয়েড বা অবদ্রবের আকারে থাইরোগ্লোবিউলিন নামক যে প্রোটিন বর্তমান, তাহার অণুতেই থাইরক্সিন, ট্রাইআয়োডোথাইরোনিন এবং দুই প্রকার আয়োডোটাইরোসিনের অণু সন্নিবেশিত থাকিয়া সঞ্চিত

হয়। প্রয়োজনমত প্রোটিন-পাককারী (proteolytic) এনজাইমের সাহায্যে থাইরোগ্লোবিউলিনকে জলবিশ্লিষ্ট (hydrolysed) করিয়া থাইরক্সিন ও ট্রাই-আয়োডোথাইরোনিনকে মুক্ত হর্মোনের আকারে রক্তে ক্ষরণ করা হয়। রক্তরসে এই হর্মোনগুলি অল্প পরিমাণে মুক্ত আকারে এবং বহুল পরিমাণে অ্যালফা-গ্লোবিউলিনের সহিত মিলিয়া যৌগের আকারে বাহিত হয়; শেষোক্ত হর্মোন-প্রোটিন যৌগের আকারে বর্তমান আয়োডিনকে **প্রোটিনাবদ্ধ আয়োডিন** (protein-bound iodine or PBI) বলে। স্বাভাবিক অবস্থায় প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তরসে বা রক্তমস্তুতে প্রায় 0.3 মাইক্রোগ্রাম অজৈব আয়োডাইড এবং প্রায় 4-8 মাইক্রোগ্রাম প্রোটিনাবদ্ধ আয়োডিন থাকে; থাইরয়েড হর্মোনের ক্ষরণ বাড়িলে বা কমিলে রক্তরসে প্রোটিনাবদ্ধ আয়োডিনের পরিমাণও যথাক্রমে বৃদ্ধি ও হ্রাস পায়।

পেশী প্রভৃতি কলায় থাইরয়েড হর্মোনগুলি হইতে ডিহ্যালোজেনেজ এনজাইমের সাহায্যে আয়োডিন মুক্ত হইয়া অজৈব আয়োডাইড রূপে রক্তে প্রবেশ করে এবং উহা অংশতঃ আবার থাইরয়েড-কোষগুলির দ্বারা সংগৃহীত ও সঞ্চিত হয়; মূত্রেও অল্প পরিমাণে অজৈব আয়োডাইড রেচিত হয়। তাহা ছাড়া যকৃতে থাইরয়েড হর্মোনগুলির গ্লুকুরোনাইড, সালফেট প্রভৃতি নিষ্ক্রিয় যৌগ উৎপন্ন হইয়া পিত্তে ও অল্প পরিমাণে মূত্রে রেচিত (excreted) হয়। স্তন, লালাগ্রন্থি প্রভৃতির রসেও সামান্য পরিমাণে আয়োডিন বাহির হয়।

16.14 মলিবডেনাম

কয়েকটি রাইবোফ্ল্যাভিন-ঘটিত ও জারণ-সহায়ক (oxidizing) এনজাইমের অণুতে মলিবডেনাম বর্তমান; যথা, যকৃতের অ্যাল্ডিহাইড অক্সিডেজ এবং যকৃত, আন্ত্রিক শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (intestinal mucosa) ও দুধের জ্যান্থিন রিডাক্টেজ। আবার যকৃতের সাল্ফাইট অক্সিডেজ প্রভৃতি কয়েকটি হিম এনজাইমের (heme enzymes) প্রোটিনেতর (prosthetic) বর্গেও মলিবডেনাম বর্তমান। এসকল এনজাইমের মলিবডেনাম ইলেক্ট্রন পরিবহনে (electron transport) অংশগ্রহণ করিয়া জারণ ও বিজারণে (reduction) সাহায্য করে।

ইঁদুর বা মুরগিকে দীর্ঘদিন মলিবডেনাম-বিহীন খাদ্য খাওয়াইয়া রাখিলে বিভিন্ন কলায় জ্যান্থিন অক্সিডেজের ক্রিয়া হ্রাস পায়। আবার ইঁদুর ও গোমহিষের খাদ্যে মলিবডেনামের আধিক্য ঘটিলে বিভিন্ন কলায় তাম্রের মাত্রাল্পতা এবং তাম্রাভাবজনিত রক্তাল্পতা (hypochromic microcytic anemia) দেখা দেয়।

16.15 সেলেনিয়াম

আহার্যে সেলেনিয়াম আদৌ না থাকিলে ইঁদুরের লোহিত রক্তকণিকায় গ্লুটাথিওন পার্-অক্সিডেজের ক্রিয়া অত্যন্ত হ্রাস পায় ও যকৃত নষ্ট হইয়া যায় (hepatic necrosis), গবাদি পশু ও শূকরের যকৃত ও পেশীর বিকৃতি (dystrophy) দেখা দেয় এবং ভেড়ার বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। সোডিয়াম সেলেনাইট-জাতীয় অজৈব সেলেনাইট লবণ অথবা ফ্যাক্টর-3 নামক জৈব সেলেনিয়াম-যৌগ সেবনে রোগ নিরাময় হয়। অন্যদিকে গোচারণের জমিতে অত্যধিক সেলেনাইট থাকিলে গবাদি পশুর রক্তে উল্লেখযোগ্য পরিমাণে সেলেনিয়াম-যৌগ পাওয়া যায়, বিভিন্ন কলার প্রোটিন অণুতে গন্ধক-বর্গের স্থানে সেলেনিয়াম ঢুকিয়া পড়ে, এমনকি দুধেও সেলেনিয়াম-প্রোটিন যৌগ আবির্ভূত হয় (অ্যাল্ক্যালি রোগ, alkali disease)।

লোহিত রক্তকণিকা ও অন্যান্য কলায় সেলেনিয়াম-ঘটিত গ্লুটাথিওন পার-অক্সিডেজ এনজাইমটি হাইড্রোজেন পার্-অক্সাইড ও ফ্যাটি অ্যাসিড পার্-অক্সাইডগুলিকে গ্লুটাথিওনের সাহায্যে দ্রুত বিজারিত (reduced) করিয়া কোষমধ্যে পার্-অক্সাইড-জনিত অবাঞ্ছিত জারণ নিবারণ করে। সেলেনিয়ামের অভাবজনিত লক্ষণগুলি কলায় পার্-অক্সাইডের অনিয়ন্ত্রিত ও হানিকর ক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন হয় বলিয়া মনে করা হয়।

16.16 অ্যালুমিনিয়াম

ফটকিরি, অ্যালুমিনিয়ামের বাসন, বেকিং পাউডার প্রভৃতি হইতে ক্ষুদ্রান্ত্রে সামান্য অ্যালুমিনিয়াম শোষিত হয় এবং মূত্রে উহা রেচিত হয়। মানবদেহে মোট প্রায় 100 মিলিগ্রাম অ্যালুমিনিয়াম থাকিলেও পুষ্টিতে ইহার গুরুত্ব অজ্ঞাত।

16.17 ক্রোমিয়াম

মাংস, দানাশস্য প্রভৃতি হইতে আহৃত সামান্য পরিমাণে ক্রোমিয়াম সম্ভবতঃ দেহে গ্লুকোজ-সহনশীলতা (glucose tolerance) বৃদ্ধির সহায়ক কোনও যৌগের উৎপাদনের জন্য প্রয়োজন।

সপ্তদশ পরিচ্ছেদ

কার্বোহাইড্রেট বিপাক
(Carbohydrate metabolism)

অন্ত্র হইতে শোষিত গ্লুকোজ, ফ্রুক্টোজ, গ্যালাক্টোজ, ম্যানোজ প্রভৃতি সরল শর্করা পোর্টাল শিরার রক্তে বাহিত হইয়া যকৃতে পৌঁছায়। হেক্সোজ শর্করাগুলি দেহে গ্লাইকোজেন আকারে সঞ্চিত থাকে এবং প্রয়োজনমত শক্তি উৎপাদন ও চর্বি, অ্যামাইনো অ্যাসিড, পেন্টোজ শর্করা, গ্লাইকোপ্রোটিন প্রভৃতি বস্তুর সংশ্লেষণে (synthesis) ব্যবহৃত হয়। অন্ত্র হইতে শোষিত পেন্টোজের পরিবর্তে হেক্সোজ অণু হইতে সংশ্লেষিত পেন্টোজই নিউক্লিওটাইড অণুর পেন্টোজ অংশের উৎস।

17.1 রক্তশর্করা (blood sugar)

গ্লুকোজই রক্তের প্রধান কার্বোহাইড্রেট এবং রক্তশর্করা বলিতে রক্তের গ্লুকোজকেই বুঝায়। ফ্রুক্টোজ, গ্যালাক্টোজ, ম্যানোজ প্রভৃতি শর্করা অন্ত্র হইতে শোষিত হইয়া স্বল্প পরিমাণে রক্তে প্রবেশ করে, কিন্তু উহারা যকৃতে গিয়া অচিরেই গ্লাইকোজেনে পরিণত হয়।

রক্তশর্করার উৎস : 1. যকৃতে সঞ্চিত গ্লাইকোজেন ভাঙ্গিয়া গ্লুকোজ উৎপন্ন হইয়া তাহা রক্তে প্রবেশ করে। 2. অন্ত্র হইতে শোষিত গ্লুকোজও রক্তশর্করা রূপে রক্তে বাহিত হয়। 3. যকৃত, বৃক্ক প্রভৃতি অঙ্গে অ্যামাইনো অ্যাসিড, গ্লিসেরল, ল্যাক্টিক অ্যাসিড, প্রোপায়োনিক অ্যাসিড প্রভৃতি বস্তু হইতে গ্লুকোজ সংশ্লেষিত হইয়া রক্তে প্রবেশ করে।

আহারের প্রায় 12 ঘণ্টার মধ্যে অন্ত্র হইতে খাদ্যের শোষণ সম্পূর্ণ হইয়া যায়। এরূপ অবস্থাকে শোষণোত্তর (postabsorptive) দশা বলে। উপবাস বা শোষণোত্তর অবস্থায় স্বাভাবিক মানবদেহে প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তে 70-100 মিলিগ্রাম গ্লুকোজ থাকে। ইহাকে উপবাসী (fasting) বা শোষণোত্তর রক্তশর্করা বলে। পর্যাপ্ত পরিমাণে কার্বোহাইড্রেট খাইলে অন্ত্র হইতে শোষিত গ্লুকোজ রক্তে আসিয়া রক্তশর্করার পরিমাণ সাময়িকভাবে বাড়ায় ; ফলে আহারের 1 ঘণ্টা পরে স্বাভাবিক মানুষের প্রতি 100 মিলি-

লিটার রক্তে রক্তশর্করা প্রায় 130-150 মিলিগ্রামে পৌঁছায়। অবশ্য স্বাভাবিক অবস্থায় যকৃত এই অতিরিক্ত গ্লুকোজকে দ্রুত রক্ত হইতে সরাইয়া লইয়া গ্লাইকোজেন রূপে সঞ্চয় করে, ফলে আহারের দুই ঘণ্টার মধ্যে রক্তশর্করা আবার শোষণোত্তর মাত্রায় নামিয়া আসে। কিন্তু মধুমেহ (diabetes mellitus) রোগে আহারের পরে রক্তশর্করা 170 মিলিগ্রাম ছাড়াইয়া যায় এবং উহা আবার শোষণোত্তর মাত্রায় নামিতেও দুই ঘণ্টার বেশি সময় লাগে। মধুমেহ বা অন্য কোনও কারণে রক্তশর্করার মাত্রাধিক্যকে **রক্তশর্করাধিক্য** (hyperglycemia) বলে। দীর্ঘ উপবাস, ইনসুলিন ইন্‌জেক্‌শন অথবা দেহে ইনসুলিনের অতি-ক্ষরণের (hypersecretion) ফলে রক্তশর্করা শোষণোত্তর মাত্রার নিচে নামিয়া গেলে তাহাকে **রক্তশর্করাল্পতা** (hypoglycemia) বলে।

রক্তশর্করার পরিণাম (fate) : 1. বিভিন্ন টিসু বা কলার কোষগুলি, এমনকি রক্তকণিকাগুলিও রক্ত হইতে গ্লুকোজ আহরণ করিয়া তাহার বিপাক ও জারণের দ্বারা শক্তি উৎপাদন করে। 2. যকৃত, পেশী প্রভৃতি অঙ্গের কোষগুলি রক্ত হইতে গ্লুকোজ সংগ্রহ করিয়া তাহাকে গ্লাইকোজেনে পরিণত করে এবং ভবিষ্যতের জন্য সঞ্চিত রাখে। 3. মেদকলার (adipose tissue) কোষগুলিতে রক্ত হইতে আহৃত গ্লুকোজ ফ্যাটে রূপান্তরিত হয় এবং তাহা চর্বির আকারে সঞ্চিত থাকে। 4. যকৃত, স্তন, শুক্রস্থলী (seminal vesicle), নার্ভতন্ত্র প্রভৃতি কলায় রক্ত হইতে সংগৃহীত গ্লুকোজ নানা বস্তুর সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয় : যথা, স্তনে ল্যাক্‌টোজ, যকৃতে অ্যামাইনো অ্যাসিড ও হেক্সোজঅ্যামাইন, শুক্রস্থলীতে ফ্রুক্‌টোজ, নার্ভতন্ত্রে গ্লাইকোলিপিড এবং বহু কলায় পেন্টোজের সংশ্লেষণ। অন্ত্র হইতে শোষিত গ্লুকোজের শতকরা প্রায় 50 ভাগ শক্তি উৎপাদনে ব্যয় হয়, প্রায় 35 ভাগ চর্বিরূপে মেদকলায় ও প্রায় 5 ভাগ গ্লাইকোজেন আকারে যকৃত ও পেশীতে সঞ্চিত থাকে এবং অবশিষ্ট প্রায় 10 ভাগ অন্যান্য বস্তুর সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়। এ সকল কার্যের জন্য কোষগুলি রক্ত হইতে গ্লুকোজ তুলিয়া লয় ; এজন্য ধমনীর তুলনায় শিরার রক্তে গ্লুকোজের পরিমাণ প্রতি 100 মিলিলিটারে প্রায় 5-10 মিলিগ্রাম কম।

স্বাভাবিক অবস্থায় রক্ত হইতে যতটুকু গ্লুকোজ পরিস্রুত হইয়া বৃক্কের টিবিউলগুলির বিবরে আসে, তাহার সবটুকুই টিবিউল-কোষগুলির দ্বারা শোষিত হইয়া আবার রক্তে ফিরিয়া যায়, ফলে স্বাভাবিক অবস্থায় মূত্রে কোনও গ্লুকোজ বা শর্করা থাকে না। রক্তশর্করার যে সর্বোচ্চ মাত্রা পর্যন্ত বৃক্ক সবটুকু পরিস্রুত গ্লুকোজকে শোষণ করিয়া লইতে পারে, তাহাকে বৃক্কের **গ্লুকোজশোষণসীমা**

(renal threshold for glucose) বলে ; মানুষের ক্ষেত্রে ইহার পরিমাণ প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তে প্রায় 170 মিলিগ্রাম। মধুমেহ রোগে রক্তে গ্লুকোজের মাত্রা 170 মিলিগ্রাম ছাড়াইয়া যায়, ফলে এত বেশি গ্লুকোজ রক্ত হইতে পরিস্রুত হইয়া বৃক্কের টিবিউলে আসে যে তাহার সবটুকু শোষণ করিয়া লওয়ার ক্ষমতা টিবিউল-কোষগুলির থাকে না ; এজন্য ঐ অবস্থায় মূত্রে গ্লুকোজ বাহির হয়। অন্য কয়েকটি অবস্থায় বৃক্কের গ্লুকোজশোষণসীমা কমিয়া যাওয়ায় রক্তে গ্লুকোজের মাত্রা 170 মিলিগ্রামের নিচে থাকিলেও মূত্রে গ্লুকোজ বাহির হয় ; ইহাকে **বৃক্কীয় মধুমেহ** (renal glucosuria) বলে।

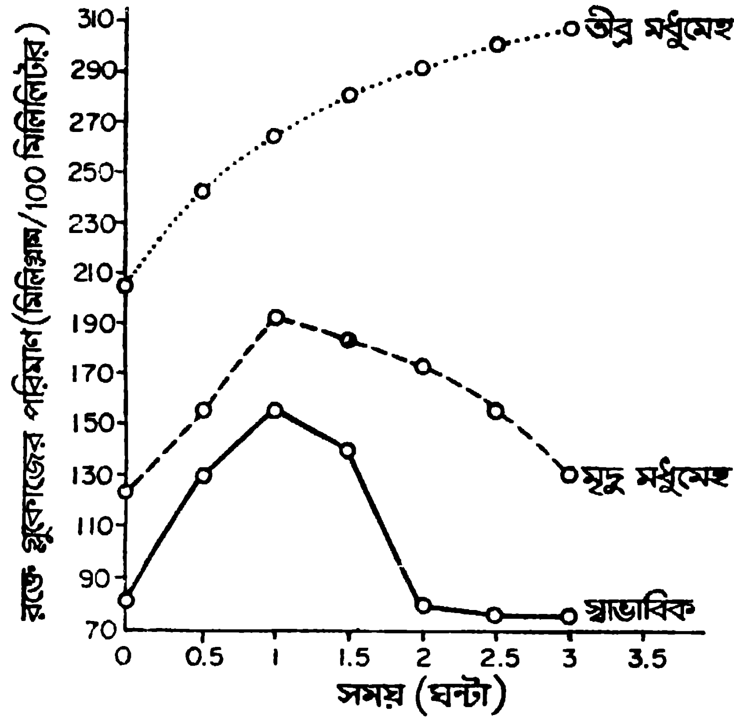
17.2 গ্লুকোজ-সহনশীলতা (glucose tolerance)

শিরায় গ্লুকোজ ইন্‌জেক্‌শন দিলে অথবা আহারের পরে অন্ত্র হইতে শোষিত গ্লুকোজ রক্তে আসিলে রক্তশর্করা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু স্বাভাবিক অবস্থায় ইহার ফলে সত্বর অগ্ন্যাশয় (pancreas) হইতে ইনসুলিনের ক্ষরণ (secretion) বাড়ে এবং ইনসুলিন রক্তশর্করাকে শীঘ্রই পূর্বমাত্রায় নামাইয়া আনে। রক্তে গ্লুকোজ প্রবেশ করিলে ইনসুলিনের মাধ্যমে বিভিন্ন কলায় গ্লুকোজের সঞ্চয় ও ব্যবহার বাড়াইয়া রক্তে শর্করার মাত্রাকে এভাবে আবার স্বাভাবিক করিবার ক্ষমতাকে গ্লুকোজ-সহনশীলতা বলে। পিটুইটারি, থাইরয়েড প্রভৃতির হর্মোন বেশি ক্ষরিত হইতে থাকিলে অথবা ইনসুলিনের অভাবে মধুমেহ (diabetes mellitus) হইলে গ্লুকোজ-সহনশীলতা হ্রাস পায়, ফলে রক্তশর্করার বৃদ্ধি স্বাভাবিকের তুলনায় দীর্ঘস্থায়ী ও তীব্রতর হইতে দেখা যায়। মধুমেহ রোগের অন্যান্য লক্ষণ প্রকট হওয়ার পূর্বেই রোগীর গ্লুকোজ-সহনশীলতা পরীক্ষার দ্বারা রোগের আক্রমণ সম্বন্ধে নিশ্চিত হওয়া যায়।

গ্লুকোজ-সহনশীলতা পরীক্ষার পূর্বে রোগীকে অন্ততঃ 3-4 দিন যথেষ্ট কার্বোহাইড্রেট খাইতে হয়। পরীক্ষার পূর্বরাত্রের আহারের 12 ঘণ্টা পরে উপবাসী অবস্থায় রোগীর শিরা হইতে রক্ত সংগ্রহ করিয়া ঐ রক্তে গ্লুকোজের পরিমাণ নির্ণয় করা হয় ; ইহাই রোগীর উপবাসী বা শোষণোত্তর রক্তশর্করার (fasting or postabsorptive blood sugar) পরিমাণ। প্রথমবার রক্ত-সংগ্রহের পরেই রোগীর দৈহিক ওজনের প্রতি কিলোগ্রামের জন্য এক গ্রাম হিসাবে গ্লুকোজ লইয়া তাহাকে তিনগুণ জলে গুলিয়া অথবা সোজাসুজি 200 মিলিলিটার জলে 100 গ্রাম গ্লুকোজ দ্রবীভূত করিয়া সেই দ্রবণ রোগীকে পান করানো হয় এবং ইহার পরে ঠিক আধঘণ্টা অন্তর 3 ঘণ্টা পর্যন্ত রোগীর শিরা

হইতে রক্ত লইয়া উহাতে গ্লুকোজের পরিমাণ নির্ণয় করা হয়। সময় ও রক্ত-শর্করার মাত্রা অনুসারে পরীক্ষার ফলাফলকে সাজাইয়া গ্লুকোজ-সহনশীলতা রেখা (glucose tolerance curve) আঁকা হয় (চিত্র 17.1)।

স্বাভাবিক অবস্থায় শোষণোত্তর রক্তশর্করার পরিমাণ প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তে 70-100 মিলিগ্রাম; গ্লুকোজ-দ্রবণ পানের পরে উহা বাড়িলেও 170 মিলিগ্রামের উপরে ওঠে না, অর্থাৎ বৃক্কের গ্লুকোজশোষণসীমাকে (renal threshold for glucose) অতিক্রম করে না এবং গ্লুকোজ-দ্রবণ পানের দুই ঘণ্টার মধ্যেই আবার কমিয়া 100 মিলিগ্রামের নিচে নামে—বস্তুতঃ রক্তশর্করার



চিত্র 17.1. গ্লুকোজ-সহনশীলতা রেখা।

বৃদ্ধির জন্য ইনসুলিন ক্ষরিত হওয়ায় অধিকাংশ ক্ষেত্রে দুই ঘণ্টা পরে রক্তশর্করার মাত্রা শোষণোত্তর মাত্রার তুলনায় কিছু কমই হইয়া থাকে। মধুমেহ রোগে, পিটুইটারি বা থাইরয়েডের অতিক্ষরণে (hypersecretion), অথবা ফিওক্রোমোসাইটোমা (pheochromocytoma) রোগে অ্যাড্রেন্যালিনের অতিক্ষরণ ঘটিলে গ্লুকোজ-সহনশীলতা হ্রাস পায়; ফলে শোষণোত্তর রক্তশর্করা 100 মিলিগ্রামের উপরে এবং রোগ তীব্র হইলে 170 মিলিগ্রামেরও ঊর্ধ্বে থাকে; শেষোক্ত রোগীর মূত্রে উপবাসের সময়েও গ্লুকোজ বাহির হয়। গ্লুকোজ-দ্রবণ পানের পরে মধুমেহ রোগীর রক্তশর্করা সকল ক্ষেত্রেই 170 মিলিগ্রামের

উপরে ওঠে, অর্থাৎ উপবাসী রোগীর মূত্রে গ্লুকোজ না থাকিলেও গ্লুকোজ-দ্রবণ পানের পরে মূত্রে অবশ্যই গ্লুকোজ থাকে। ইহা ছাড়া মধুমেহ রোগীর রক্তশর্করা শোষণোত্তর অবস্থায় নামিতে 2½ ঘণ্টার বেশি সময় লাগে। অন্যদিকে ইনসুলিনের অতিক্ষরণ (hyperinsulinism), অ্যাড্রেন্যালের বাহ্যাংশের (cortex) ক্ষয়রোগের ফলে অ্যাডিসন-বর্ণিত রোগ (Addison's disease), পিটুইটারির সম্মুখভাগের কর্মনাশের ফলে সিমণ্ড-বর্ণিত রোগ (Simmond's disease), আহারের পরেই শ্রমসাধ্য কাজ বা ব্যায়াম—এই সকল অবস্থায় গ্লুকোজ-সহনশীলতা বাড়ে। সেক্ষেত্রে শোষণোত্তর রক্তশর্করা 80 মিলিগ্রামের নিচে থাকে, গ্লুকোজ-দ্রবণ পানের পরে রক্তশর্করা মাত্র 10-30 মিলিগ্রাম বাড়িতে পারে এবং অচিরেই কমিয়া শোষণোত্তর মাত্রার নিচে নামিয়া যায়।

বর্তমানে গ্লুকোজ-দ্রবণ পানের পরিবর্তে অনেক সময়ে রোগীর শিরায় 25 গ্রাম গ্লুকোজের 20% দ্রবণ ইন্‌জেক্‌শন দিয়া প্রতি আধঘণ্টা অন্তর রক্ত সংগ্রহ করিয়া গ্লুকোজ-সহনশীলতা নির্ণয় করা হয়। এরূপ পরীক্ষায় ইন্‌জেক্‌শনের আধঘণ্টা পরে স্বাভাবিক রোগীর রক্তশর্করা সর্বোচ্চ মাত্রায় ওঠে, কিন্তু কখনো 250 মিলিগ্রাম অতিক্রম করে না এবং ইন্‌জেক্‌শনের দেড় ঘণ্টার মধ্যেই উপবাসকালীন মাত্রায় নামিয়া আসে।

গ্লুকোজ-সহনশীলতা সম্বন্ধে দ্রুত ধারণা করার জন্য প্রায়ই গ্লুকোজ-সহনশীলতা পরীক্ষার পরিবর্তে আহারের ঠিক 2 ঘণ্টা পরে রোগীর রক্ত সংগ্রহ করিয়া তাহাতে শোষণোত্তর রক্তশর্করার মাত্রা নির্ণয় করা হয় (postprandial blood sugar estimation)।

17.3 কার্বোহাইড্রেট বিপাকের পথ

মানবদেহে কার্বোহাইড্রেট বিপাকের মুখ্য পথগুলি নিম্নরূপ : 1. গ্লাইকোজেনোসিস বা গ্লাইকোজেন-সংশ্লেষণ ; 2. গ্লাইকোজেনোলাইসিস বা গ্লাইকোজেন-বিশ্লেষ ; 3. গ্লাইকোলিসিস ; 4. পেন্টোজ্ ফসফেট পথ ; 5. সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র ; 6. ইউরোনিক অ্যাসিড পথ ; 7. অ্যামাইনো শর্করা উৎপাদন ; 8. ল্যাক্‌টোজ সংশ্লেষণ ; 9. ফ্রুক্‌টোজ সংশ্লেষণ ; 10. ফ্যাট উৎপাদন ; 11. অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপাদন ; 12. গ্লাইকোস্ফিংগোলিপিড সংশ্লেষণ ; 13. গ্লুকোনিওজেনেসিস বা নবশর্করাসৃজন।

দেহে শক্তি উৎপাদনই কার্বোহাইড্রেটের প্রধান কাজ—গ্লাইকোলিসিস ও সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট হইতে শক্তি উৎপন্ন হয়। অন্ত্র হইতে শোষিত গ্লুকোজ সোজাসুজি ঐ পথ দুইটির মাধ্যমে শক্তি উৎপাদনে

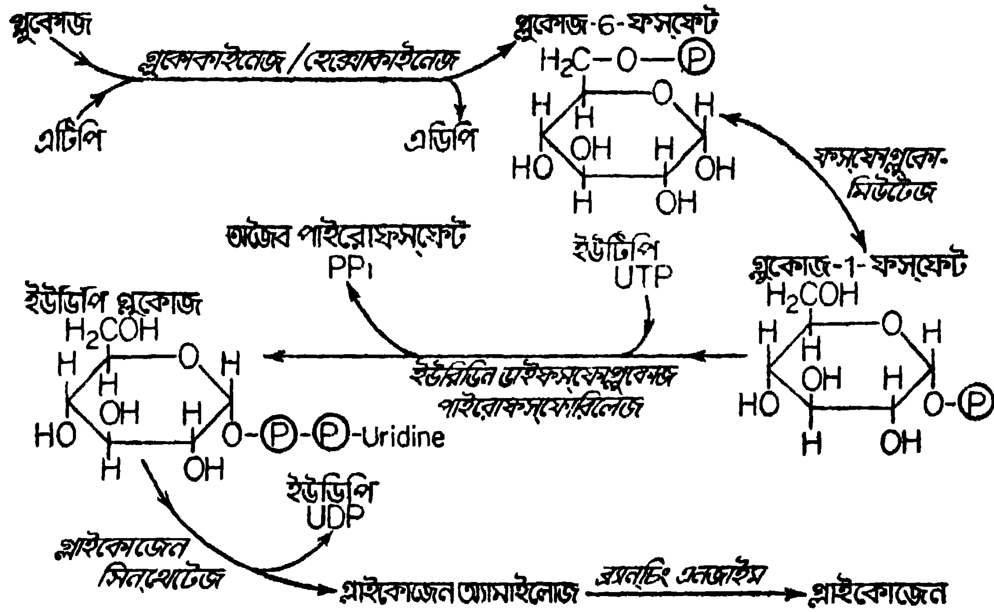
প্রযুক্ত হইতে পারে, অথবা ভবিষ্যতে ঐভাবে ব্যবহারের জন্য যকৃত, পেশী প্রভৃতি কলায় গ্লাইকোজেনেসিসের মাধ্যমে গ্লাইকোজেনে পরিণত হইয়া সঞ্চিত থাকিতে পারে। কিছু গ্লুকোজ মেদকলায় চর্বি বা ফ্যাটে পরিবর্তিত হইয়া ভবিষ্যতে শক্তি উৎপাদনের জন্য সঞ্চিত হয়। কার্বোহাইড্রেট হইতে সংশ্লেষিত অ্যামাইনো অ্যাসিড, গ্লাইকোস্ফিংগোলিপিড, মিউকোপ্রোটিন প্রভৃতি বস্তু দেহগঠনের উপাদানরূপে ব্যবহৃত হয়। গ্লুকোনিওজেনেসিস পদ্ধতিতে অ্যামাইনো অ্যাসিড, ল্যাক্টিক অ্যাসিড, প্রোপায়োনিক অ্যাসিড, গ্লিসেরল প্রভৃতি হইতে কার্বোহাইড্রেট উৎপন্ন হইয়া শক্তি উৎপাদনে প্রযুক্ত হয়।

17.4 গ্লাইকোজেনেসিস বা গ্লাইকোজেন-সংশ্লেষণ

গ্লাইকোজেনেসিসের (glycogenesis) দ্বারা হেক্সোজ (C_6) শর্করা হইতে গ্লাইকোজেন সংশ্লেষিত হইয়া বিভিন্ন কলায় (tissue) সঞ্চিত থাকে। যকৃতে অন্ত্র হইতে শোষিত গ্লুকোজ, ফ্রুক্টোজ, গ্যালাক্টোজ ও ম্যানোজ হইতে এবং পেশী ও অন্যান্য কলায় কেবল গ্লুকোজ হইতে গ্লাইকোজেন সংশ্লেষিত হয়। খাদ্য হইতে শোষিত গ্লুকোজের প্রায় 5% এভাবে গ্লাইকোজেনে পরিণত ও সঞ্চিত হয়। প্রাপ্তবয়স্ক মানুষের যকৃতে প্রায় 100-120 গ্রাম এবং পেশী-গুলিতে মোট প্রায় 250-260 গ্রাম গ্লাইকোজেন সঞ্চিত থাকে—যকৃতের প্রায় 5-6% এবং পেশীর প্রায় 0.5-1.8% গ্লাইকোজেন। অবশ্য লোহিত রক্তকণিকা ও নার্ভকলায় গ্লাইকোজেন নাই এবং বৃক্কেও গ্লাইকোজেনের পরিমাণ খুব কম —এসকল কলায় গ্লাইকোজেনেসিস হয় অনুপস্থিত না হয় নগণ্য।

গ্লুকোজ হইতে গ্লাইকোজেনেসিসের সময়ে প্রথমে হেক্সোকাইনেজ বা গ্লুকোকাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি (ATP or adenosine triphosphate) হইতে একটি ফসফেট বর্গ গ্লুকোজের ষষ্ঠ কার্বনে (C^6) যুক্ত হইলে গ্লুকোজ-6 ফসফেট ও এডিপি (ADP or adenosine diphosphate) উৎপন্ন হয় (চিত্র 17.2)। হেক্সোকাইনেজ এনজাইমগুলি গ্লুকোজ ব্যতীত গ্যালাক্টোজ, ফ্রুক্টোজ, ম্যানোজ প্রভৃতির সহিতও এটিপি-র অনুরূপ বিক্রিয়া ঘটাইতে পারে ; পেশী, লোহিত রক্তকণিকা, মস্তিষ্ক প্রভৃতি বিভিন্ন কলায় ভিন্ন ভিন্ন ধরনের হেক্সোকাইনেজ বর্তমান। গ্লুকোকাইনেজ প্রধানতঃ যকৃতে থাকে এবং বিশেষতঃ যখন রক্তে শর্করার মাত্রা বেশি থাকে, তখন উহা গ্লুকোজের পূর্বোক্ত বিক্রিয়ায় সাহায্য করে ; অন্যান্য হেক্সোজ শর্করার উপরে ইহার প্রভাব নাই বলিলেই হয়। হেক্সোকাইনেজ ও গ্লুকোকাইনেজের ক্রিয়া একমুখী (irreversible) অর্থাৎ ইহারা বিপরীতমুখী বিক্রিয়া ঘটাইতে পারে না।

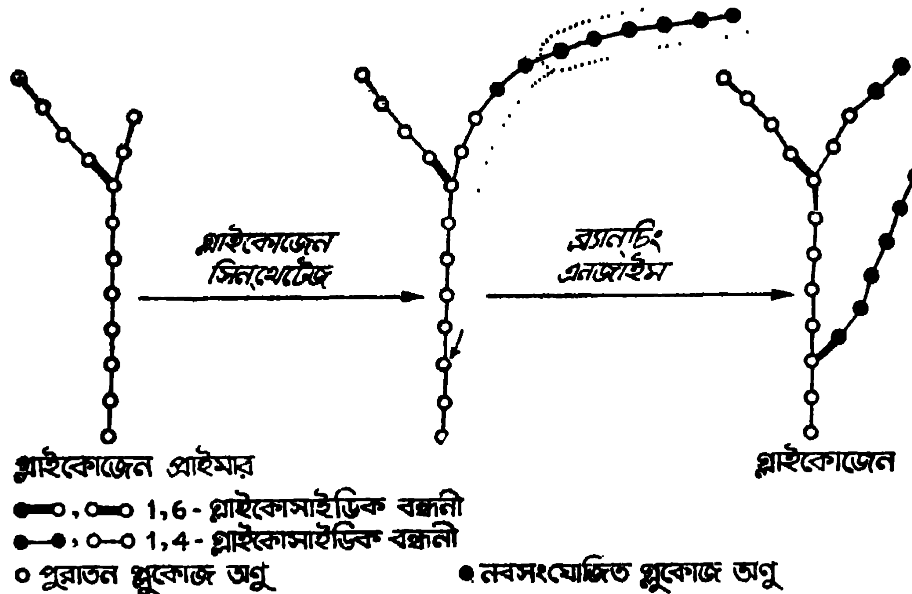
উপরি-উক্ত বিক্রিয়ায় উৎপন্ন গ্লুকোজ-6-ফসফেট ফসফোগ্লুকোমিউটেজের ক্রিয়ায় গ্লুকোজ-1-ফসফেটে রূপান্তরিত হয়। অতঃপর ইউরিডিন-ডাইফসফো-গ্লুকোজ পাইরোফস্‌ফোরিলেজের (UDPG pyrophosphorylase) ক্রিয়ায় গ্লুকোজ-1-ফসফেট ও ইউরিডিন ট্রাইফসফেটের (uridine triphosphate or UTP) মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া এক অণু অজৈব পাইরোফসফেট (PPi) ও এক অণু ইউডিপি-গ্লুকোজ (UDP-glucose) উৎপন্ন হয়। ইহার পরে গ্লাইকোজেন সিন্‌থেটেজ এনজাইমের প্রভাবে ইউডিপি-গ্লুকোজের গ্লুকোজ অংশটি পূর্ব হইতেই বর্তমান একটি ক্ষুদ্র অলিগোস্যাকারাইড অণুতে যুক্ত হইয়া যায় এবং ইউডিপি বা ইউরিডিন ডাইফসফেট (UDP) মুক্ত হয়। এভাবে পর-



চিত্র 17.2. গ্লুকোজ হইতে গ্লাইকোজেনেসিস।

পর গ্লুকোজ অণু যুক্ত হইতে থাকিলে অলিগোস্যাকারাইডটির আয়তন ক্রমশঃ বাড়িয়া উহা গ্লাইকোজেন অ্যামাইলোজ নামক একটি শাখাবিহীন পলিস্যাকা-রাইড অণুতে পরিণত হয়; শেষোক্ত অণুতে প্রত্যেক গ্লুকোজ অণুর চতুর্থ কার্বন (C^4) পরবর্তী গ্লুকোজ অণুর প্রথম কার্বনের (C^1) সহিত 1,4-গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী দিয়া আবদ্ধ থাকে। এভাবে গ্লাইকোজেন সিন্‌থেটেজের প্রভাবে পরপর ৪-10টি গ্লুকোজ অণু যুক্ত হওয়ার পরে ব্র্যান্‌চিং (branching) এনজাইমের প্রভাবে ঐ পলিস্যাকারাইড অণুটির মধ্যবর্তী একটি 1,4-গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী ভাঙ্গিয়া 6-7টি গ্লুকোজ অণুতে গঠিত একটি অলিগোস্যাকারাইড শৃঙ্খল স্থানচ্যুত হয় এবং গ্লাইকোজেন অ্যামাইলোজের মূল আণবিক শৃঙ্খলের

অপর এক জায়গায় 1,6-গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীর দ্বারা পুনর্বার যুক্ত হয় (চিত্র 17 3) ; ফলে শেষোক্ত স্থানে ঐ পলিস্যাকারাইড অণুতে একটি শাখার সৃষ্টি হয়। এইভাবে পর্যায়ক্রমে গ্লাইকোজেন সিন্‌থেটেজ ও ব্র্যান্‌চিং এনজাইমের ক্রিয়া বারবার চলিতে থাকিলে পরিণামে বহু গ্লুকোজ অণুতে গঠিত এবং নানা শাখাপ্রশাখায় বিন্যস্ত গ্লাইকোজেন অণু সৃষ্ট হয়। গ্লাইকোজেন সিন্‌থেটেজ গ্লাইকোজেনেসিসের গতিনিয়ন্ত্রক এনজাইম (rate-limiting enzyme) রূপে বিবেচিত হয়—দেহে নানা অবস্থার প্রভাবে এই এনজাইমটির ক্রিয়ার হ্রাসবৃদ্ধি ঘটিলে সেই অনুযায়ী গ্লাইকোজেনেসিসেরও হ্রাসবৃদ্ধি হয় ; যথা, অ্যাড্রেন্যালিন এবং গ্লুকাগন, এই দুইটি হর্মোনের প্রভাবে গ্লাইকোজেন সিন্‌থেটেজের সাময়িক নিষ্ক্রিয়তা ঘটিয়া যকৃত ও পেশীতে গ্লাইকোজেনেসিস কমিয়া যায়।



চিত্র 17.3. গ্লাইকোজেন সিন্‌থেটেজ ও ব্র্যানচিং এনজাইমের ক্রিয়ার চিত্ররূপ।

যকৃতে ফ্রুক্‌টোকাইনেজের প্রভাবে ফ্রুক্‌টোজ ও এটিপি-র মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া এডিপি ও ফ্রুক্‌টোজ-1-ফসফেট উৎপন্ন হয় (চিত্র 17.4)। শেষোক্ত বস্তুটি অ্যাল্‌ডোলেজ বি নামক এনজাইমের প্রভাবে গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড ও ডাই-হাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেটে বিশ্লিষ্ট হয়। ট্রায়োকাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড-3-ফস-ফেটে পরিণত হয় এবং তাহা অ্যাল্‌ডোলেজ বি-র প্রভাবে ডাইহাইড্রক্সি-অ্যাসিটোন ফসফেটের সহিত মিলিয়া ফ্রুক্‌টোজ-1,6-ডাইফসফেট উৎপন্ন করে। অবশ্য ফ্রুক্‌টোকাইনেজের ক্রিয়ায় উৎপন্ন ফ্রুক্‌টোজ-1-ফসফেটের অল্প

কিছু অণু 1-ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ ও এটিপি-র সাহায্যে সোজাসুজি ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেটে পরিণত হইতে পারে। উপরি-উক্ত যে-কোনও পদ্ধতিতে উৎপন্ন ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেট ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফাটেজের প্রভাবে জলবিশ্লিষ্ট হইয়া অজৈব ফসফেট ও ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেটে ভাঙ্গিয়া পড়ে এবং শেষোক্ত বস্তুটি ফসফোহেক্সোজ আইসোমেরেজের প্রভাবে গ্লুকোজ-6-ফসফেটে পরিণত হইয়া পূর্ববর্ণিত পথে গ্লাইকোজেনে রূপান্তরিত হয়। অল্পস্বল্প ফ্রুক্টোজ হেক্সোকাইনেজের প্রভাবে এটিপি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া সরাসরি ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেটে পরিণত হয় এবং তাহা হইতে

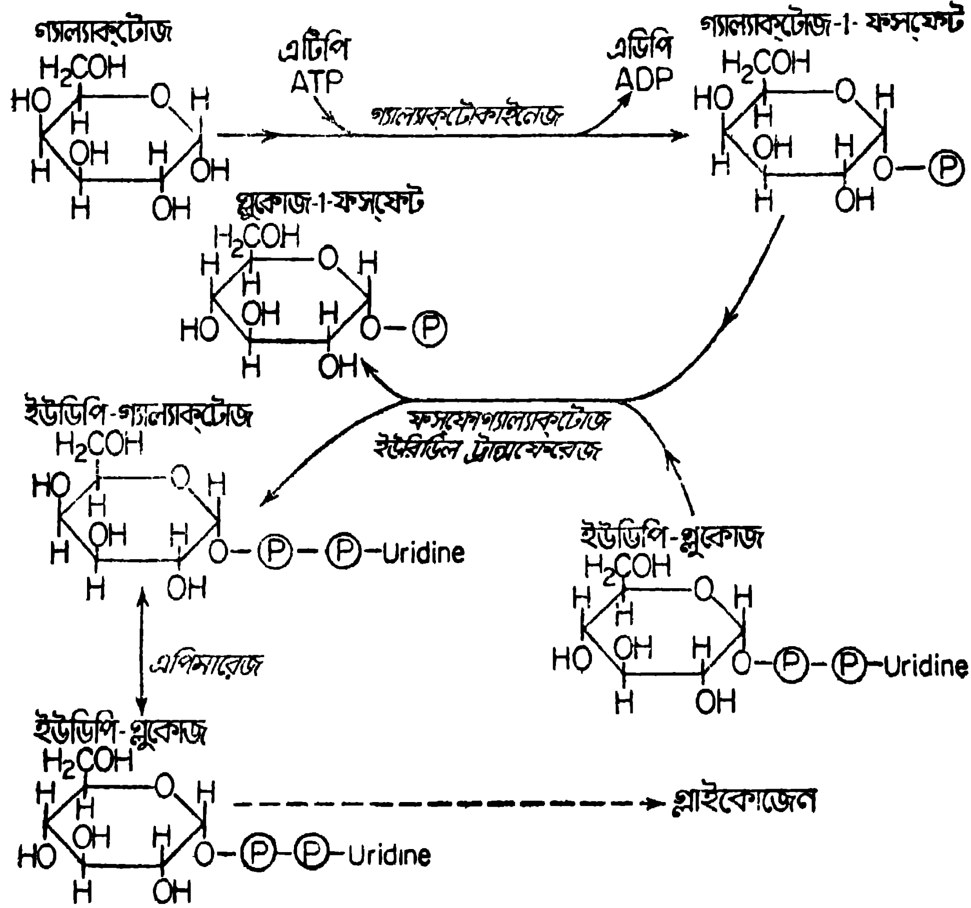
গ্লিসের্যালডিহাইড
ট্রায়োকাইনেজ
গ্লিসের্যালডিহাইড-3-ফসফেট
এটিপি
এডিপি
ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট
অ্যালডোলেজ বি
এটিপি
এডিপি
ফ্রুক্টোকাইনেজ
ফ্রুক্টোজ
ফ্রুক্টোজ-1-ফসফেট
এটিপি
অ্যালডোলেজ বি
1-ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ
এটিপি
হেক্সোকাইনেজ
এডিপি
এডিপি
অজৈব ফসফেট
ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেট
ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফাটেজ
ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট
H_2O
গ্লুকোজ
ফসফোহেক্সোজ আইসোমেরেজ
গ্লুকোজ-6-ফসফেট
ফসফোম্যানোজ আইসোমেরেজ
এডিপি
এটিপি
গ্লাইকোজেন
হেক্সোকাইনেজ
ম্যানোজ-6-ফসফেট
ম্যানোজ

চিত্র 17.4. ফ্রুক্টোজ ও ম্যানোজ হইতে গ্লাইকোজেনেসিস্।

ফসফোহেক্সোজ আইসোমেরেজের ক্রিয়ায় গ্লুকোজ-6-ফসফেটের উৎপত্তি ঘটে ; শেষোক্ত বস্তুটি গ্লাইকোজেনে রূপান্তরিত হয়।

যকৃতে গ্যাল্যাক্টোজ গ্যাল্যাক্টোকাইনেজের প্রভাবে এটিপি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া গ্যাল্যাক্টোজ-1-ফসফেটে পরিণত হয় (চিত্র 17.5)। শেষোক্ত বস্তু এবং ইউডিপি-গ্লুকোজের মধ্যে ফসফোগ্যাল্যাক্টোজ ইউরিডিল ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে বিক্রিয়া ঘটিয়া গ্লুকোজ-1-ফসফেট ও ইউডিপি-গ্যাল্যাক্টোজ উৎপন্ন হয়। ইউডিপি-গ্যাল্যাক্টোজ-4-এপিমারেজ, এন-এ-ডি

(NAD⁺) প্রভৃতির সাহায্যে ইউডিপি-গ্যাল্যাক্টোজ ইউডিপি-গ্লুকোজে রূপান্তরিত হয় এবং তাহা ইতিপূর্বে বর্ণিত পদগুলির মাধ্যমে গ্লাইকোজেন উৎপাদন করে।



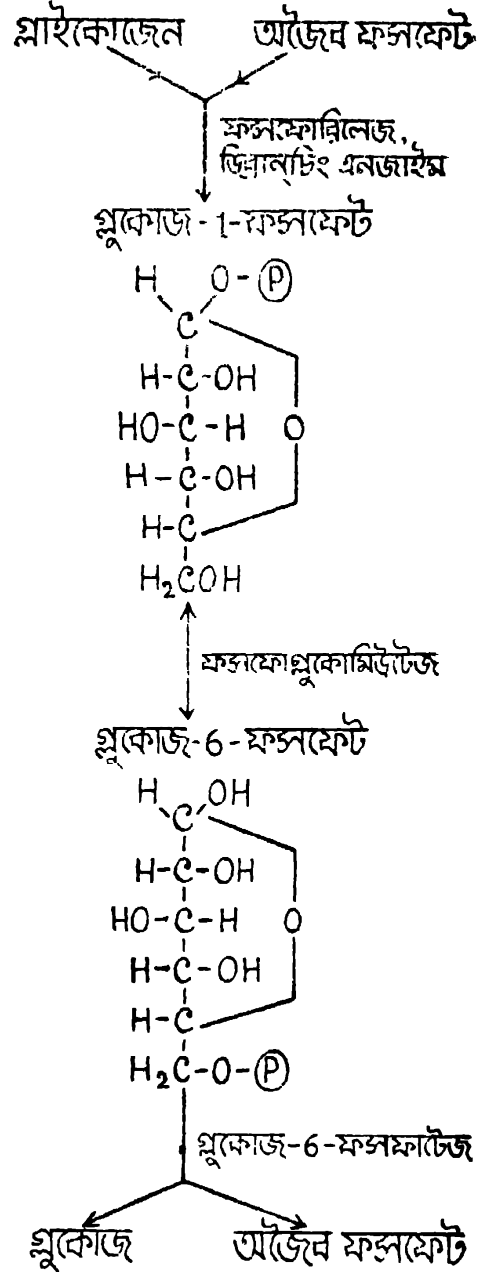
চিত্র 17.5. গ্যাল্যাক্টোজ হইতে গ্লাইকোজেনেসিস্।

হেক্সোকাইনেজের প্রভাবে এটিপি-র সহিত বিক্রিয়ার ফলে ম্যানোজ হইতে ম্যানোজ-6-ফসফেট উৎপন্ন হয় (চিত্র 17.4)। শেষোক্ত বস্তুটি ফসফোম্যানোজ আইসোমেরেজের দ্বারা ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেটে রূপান্তরিত হইয়া ক্রমে ইতিপূর্বে বর্ণিত পদগুলির মাধ্যমে গ্লাইকোজেন উৎপাদন করে।

17.5 গ্লাইকোজেনোলাইসিস বা গ্লাইকোজেন-বিশ্লেষ

গ্লাইকোজেনোলাইসিসের (glycogenolysis) দ্বারা যকৃতে সঞ্চিত গ্লাইকোজেন গ্লুকোজে পরিণত হয় এবং সেই গ্লুকোজ রক্তে আসিয়া রক্তশর্করা (blood sugar) রূপে বাহিত হয়। যকৃত ব্যতীত ক্ষুদ্রান্ত্র ও বৃক্কেও অল্পস্বল্প গ্লাইকোজেনোলাইসিস ঘটিয়া থাকে।

প্রথমে ফসফোরিলেজ (গ্লাইকোজেন ফসফোরিলেজ) এনজাইমের প্রভাবে গ্লাইকোজেন ও অজৈব ফসফেটের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া প্রতিপদে গ্লাইকোজেনের যে-কোনও আণবিক শৃঙ্খলের প্রান্তীয় 1,4-গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীটি ভাঙ্গিয়া শেষ গ্লুকোজ অণুটি গ্লুকোজ-1-ফসফেট আকারে মুক্ত হইয়া যায়। ক্রমাগত এরূপ ফসফোবিশ্লেষের (phosphorolysis) ফলে গ্লাইকোজেনের ভাঙ্গনরত শৃঙ্খলটির দৈর্ঘ্য কমিতে থাকে এবং মুক্ত গ্লুকোজ-1-ফসফেট অণুগুলি ফসফোগ্লুকোমিউটেজের ক্রিয়ায় গ্লুকোজ-6-ফসফেটে পরিবর্তিত হয়। শেষোক্ত বস্তুটি গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট (hydrolysed) হইলে অজৈব ফসফেট ও মুক্ত গ্লুকোজ উৎপন্ন হয় (চিত্র 17.6)। গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজ যকৃত, বৃক্ক ও ক্ষুদ্রান্ত্রে আছে, কিন্তু পেশী বা মস্তিষ্কে নাই ; এজন্য শেষোক্ত দুইটি কলায় গ্লাইকোজেনোলাইসিস হয় না।

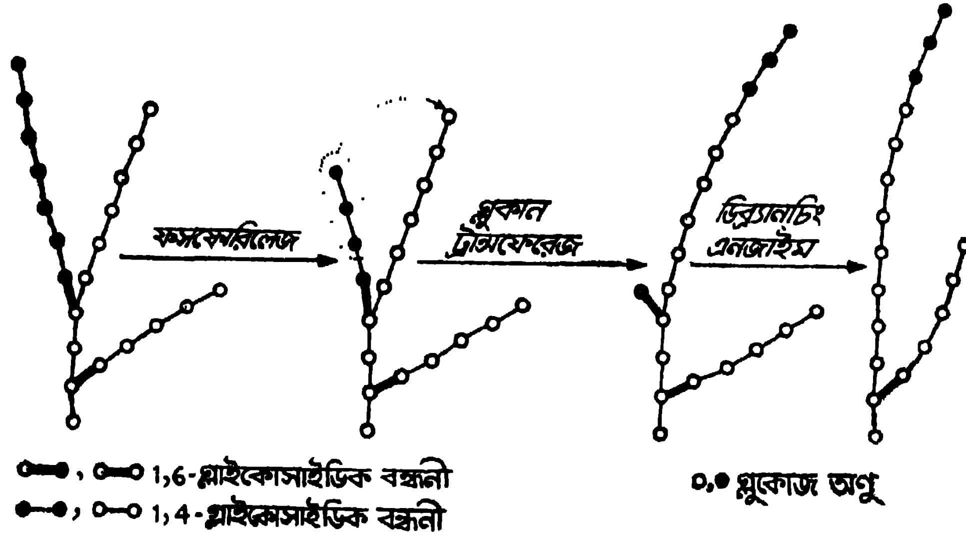


চিত্র 17.6. গ্লাইকোজেনোলাইসিস্।

ফসফোরিলেজের ক্রিয়ায় ফসফোবিশ্লেষের ফলে গ্লাইকোজেনের ভাঙ্গনরত শৃঙ্খলটির দৈর্ঘ্য কমিতে কমিতে চারটি গ্লুকোজ অণুতে দাঁড়াইলে পরবর্তী তিনটি গ্লুকোজ অণুতে গঠিত ট্রাইস্যাকারাইড অংশটি 'অলিগো-(অ্যালফা -1,4 → অ্যালফা-1,4)-গ্লুকান ট্রান্সফেরেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ঐ শৃঙ্খল হইতে স্থানচ্যুত হইয়া গ্লাইকোজেন অণুর অন্য কোনও শৃঙ্খলের প্রান্তে যুক্ত হয়, ফলে প্রথমোক্ত ভাঙ্গনরত শৃঙ্খলের কেবল শেষ গ্লুকোজ অণুটি 1,6-গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীর দ্বারা গ্লাইকোজেন অণুতে সংযুক্ত রহিয়া যায় (চিত্র 17.7)।

ডিব্র্যান্চিং এনজাইমের ক্রিয়ায় শেষোক্ত বন্ধনীটি জলবিশ্লিষ্ট হইয়া শৃঙ্খলের শেষ গ্লুকোজ অণুটি গ্লুকোজ আকারেই মুক্তিলাভ করে।

ফস্‌ফোরিলেজ এনজাইমটি গ্লাইকোজেনোলাইসিসের গতিনিয়ন্ত্রক (rate-limiting) এনজাইম রূপে বিবেচিত হয়। ইহা যকৃতে নিষ্ক্রিয় ডিফস্‌ফো-ফস্‌ফোরিলেজ (dephosphophosphorylase) এবং সক্রিয় ফস্‌ফোফস্‌ফোরি-লেজ, এই দুই আকারে বর্তমান এবং ইহারা এনজাইমের ক্রিয়ায় পরস্পরে পরিবর্তিত হইয়া থাকে। অ্যাড্রেন্যালিন ও গ্লুকাগন হর্মোনদ্বয় যকৃতে ডিফস্‌ফোফস্‌ফোরিলেজ হইতে ফস্‌ফোফস্‌ফোরিলেজের উৎপাদন বাড়াইয়া



চিত্র 17.7. গ্লাইকোজেন ফসফোরিলেজ, গ্লুকান ট্রান্সফেরেজ ও ডিব্র্যানচিং এনজাইমের ক্রিয়ার চিত্ররূপ।

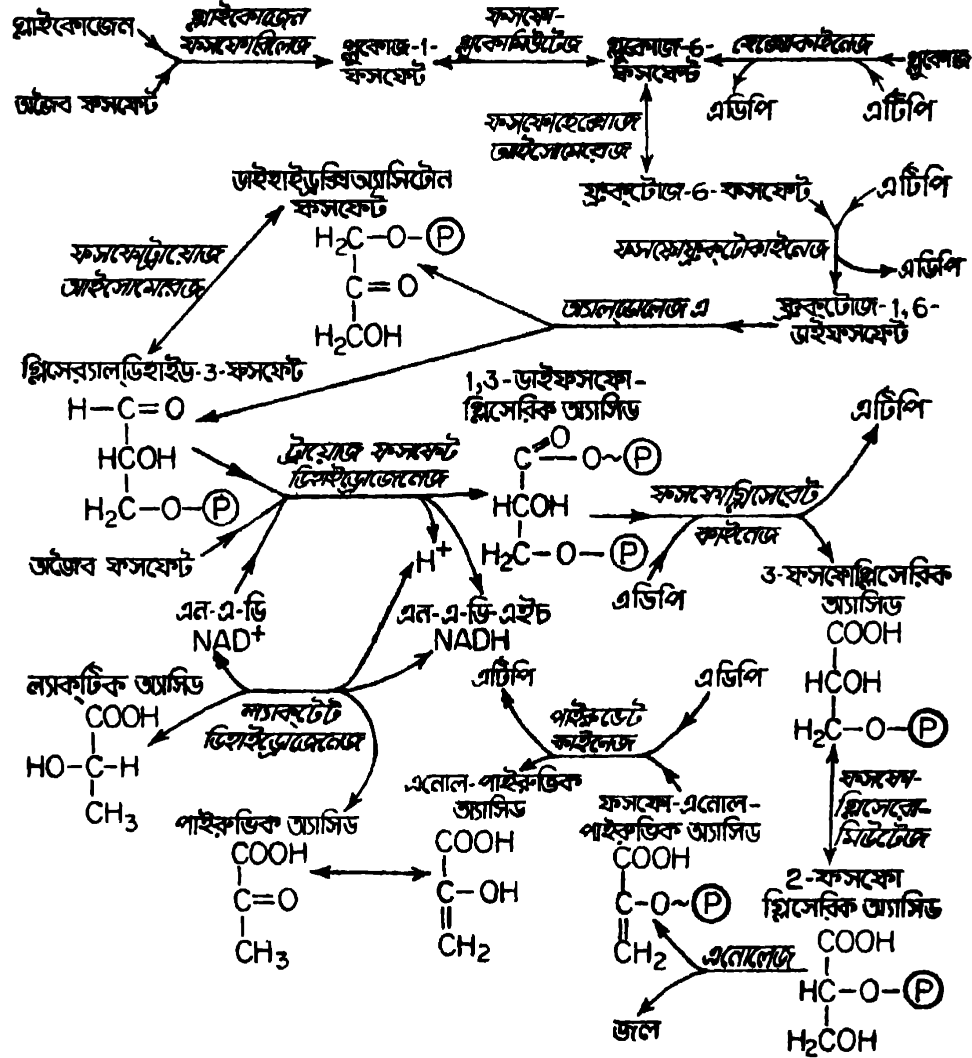
এনজাইমটিকে সক্রিয় করিয়া তোলে, ফলে গ্লাইকোজেনোলাইসিস বাড়িয়া রক্তশর্করার বৃদ্ধি ঘটে। পক্ষান্তরে, থাইরক্সিন ও কর্টিসল হর্মোনদ্বয় যকৃতে গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজের ক্রিয়া বাড়াইয়া গ্লাইকোজেনোলাইসিস বর্ধিত করে।

17.6 গ্লাইকোলিসিস

পেশী, লোহিত রক্তকণিকা, মস্তিষ্ক প্রভৃতি কলায় সাইটোপ্লাজমের দ্রবীভূত অংশ বা সাইটোসলে (cytosol) গ্লুকোজ বা গ্লাইকোজেনের বিপাক ও জারণের ফলে পাইরুভিক ও ল্যাক্‌টিক অ্যাসিড এবং প্রভূত শক্তি উৎপন্ন হয়। এই পদ্ধতিটি অবায়ব (anaerobic), অর্থাৎ ইহা অক্সিজেনের অভাবেও অব্যাহত থাকে। ইহাকে গ্লাইকোলিসিস (glycolysis) বা এম্‌ব্‌ডেন-মেয়ারহফ-পার্নাস

পথ (Embden-Meyerhof-Parnas pathway) বলে। স্বাভাবিক অবস্থায় খাদ্য হইতে শোষিত গ্লুকোজের প্রায় অর্ধেক এই পথে জারিত হয়।

লোহিত রক্তকণিকা ও মস্তিষ্কে গ্লুকোজ হইতে এবং পেশীতে গ্লাইকোজেন হইতে গ্লাইকোলিসিস ঘটিয়া থাকে। পেশীতে গ্লাইকোজেন ফসফোরিলেজ নামক এনজাইমের প্রভাবে গ্লাইকোজেন ও অজৈব ফসফেটের মধ্যে



চিত্র 17.8. গ্লাইকোলিসিস্।

বিক্রিয়া ঘটিয়া ক্রমে ক্রমে বহু গ্লুকোজ-1-ফসফেট অণু উৎপন্ন হয় (17.5 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য); গ্লুকোজ-1-ফসফেট অচিরে ফসফোগ্লুকোমিউটেজের দ্বারা গ্লুকোজ-6-ফসফেটে পরিবর্তিত হয়। অন্যদিকে লোহিত রক্তকণিকা ও মস্তিষ্কে হেক্সোকাইনেজের প্রভাবে এটিপি হইতে একটি ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া গ্লুকোজ সরাসরি গ্লুকোজ-6-ফসফেটে পরিণত হয় (চিত্র 17.8)।

পেশীতে গ্লাইকোজেন ফসফোরিলেজ নিষ্ক্রিয় ফসফোরিলেজ বি এবং সক্রিয় ফসফোরিলেজ এ, এই দুই আকারে বর্তমান এবং এনজাইমের ক্রিয়ায় ইহারা পরস্পরে পরিবর্তিত হয়। অ্যাড্রেন্যালিন পেশীতে নিষ্ক্রিয় ফসফোরিলেজ বি হইতে সক্রিয় ফসফোরিলেজ এ উৎপাদনে সাহায্য করিয়া গ্লাইকোলিসিস বর্ধিত করে।

উপরি-উক্ত পদ্ধতিতে উৎপন্ন গ্লুকোজ-6-ফসফেট ফসফোহেক্সোজ আইসো-মেরেজ (ফসফোগ্লুকোজ আইসোমেরেজ) এনজাইমের ক্রিয়ায় ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেটে পরিণত হয়। শেষোক্ত বস্তুটি ম্যাগনেসিয়াম আয়ন ও ফসফোফ্রুক্টো-কাইনেজের প্রভাবে এটিপি হইতে একটি ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেট উৎপাদন করে এবং এটিপি এডিপি-তে পরিণত হয়। ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ গ্লাইকোলিসিসের **গতিনিয়ন্ত্রক এনজাইম** (rate-limiting enzyme) এবং ইহার ক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করিয়া দেহে গ্লাইকো-লিসিসের মাত্রা নিয়ন্ত্রিত হয়। ফস্‌ফোফ্রুক্টোকাইনেজ বিপরীতমুখী (reverse) বিক্রিয়াটি ঘটাইতে পারে না ; ঐ বিক্রিয়ার জন্য পৃথক এনজাইমের প্রয়োজন হয়।

অতঃপর পেশীতে অ্যাল্‌ডোলেজ এ (aldolase A) এবং মস্তিষ্কে অ্যাল্‌-ডোলেজ সি (aldolase C) এনজাইমের ক্রিয়ায় ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেট অণুটি তৃতীয় ও চতুর্থ কার্বনের (C^3, C^4) মধ্যে ভাঙ্গিয়া এক অণু গ্লিসের‍্যাল্‌-ডিহাইড-3-ফসফেট এবং এক অণু ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট দান করে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখ্য যে, যকৃতের অ্যাল্‌ডোলেজ বি (aldolase B) প্রধানতঃ ইহার বিপরীতমুখী বিক্রিয়া ঘটাইয়া গ্লাইকোজেনেসিস ও গ্লুকোনিওজেনেসিসে সাহায্য করে (186 ও 219 পৃষ্ঠা এবং চিত্র 17.4 ও 17.28 দ্রষ্টব্য)।

উল্লিখিত ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট এবং গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড-3-ফসফেট ফস্‌ফোট্রায়োজ আইসোমেরেজের প্রভাবে পরস্পরে রূপান্তরিত হইতে পারে, ফলে কার্যতঃ এক অণু ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেট হইতে দুই অণু গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড-3-ফসফেট উৎপন্ন হয়।

প্রত্যেক গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড-3-ফসফেট অণু এন-এ-ডি (NAD^+) এবং ট্রায়োজ ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের (গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড-3-ফসফেট ডিহাই-ড্রোজেনেজ) ক্রিয়ায় জারিত এবং অজৈব ফসফেটের সহিত মিলিত হইয়া 1,3-ডাইফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে ; জারণের সময়ে গ্লিসের‍্যাল্‌-ডিহাইড-3-ফসফেট হইতে হাইড্রোজেন এন-এ-ডি অণুতে স্থানান্তরিত হওয়ায় উহা বিজারিত (reduced) হইয়া এন-এ-ডি-এইচ (NADH) হইয়া যায়।

প্রসঙ্গতঃ উল্লেখ্য যে পেশীতে ট্রায়োজ ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ এনজাইমটি এভাবে কাজ করিয়া গ্লাইকোলিসিসে সাহায্য করিলেও যকৃতে উক্ত এনজাইমটি সম্ভবতঃ এই পদের বিপরীতমুখী বিক্রিয়া ঘটাইয়া গ্লুকোনিওজেনেসিসে সাহায্য করে (17.18 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

পরবর্তী পদে 1,3-ডাইফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিডের প্রথম কার্বনে (C^1) যুক্ত উচ্চশক্তি (high-energy) ফসফেট বর্গটি ফসফোগ্লিসেরেট কাইনেজের প্রভাবে এডিপি অণুতে (অথবা কখনও কখনও পেশীর ক্রিয়াটিন অণুতে) স্থানান্তরিত হইলে এটিপি (অথবা ক্রিয়াটিন ফসফেট) এবং 3-ফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

3-ফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিডের ফসফেট বর্গ ফসফোগ্লিসেরোমিউটেজের ক্রিয়ায় তৃতীয় হইতে দ্বিতীয় কার্বনে স্থানান্তরিত হইলে 2-ফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিড পাওয়া যায় এবং উহা এনোলেজের (enolase) ক্রিয়ায় এক অণু জল হারাইয়া ফসফো-এনোল-পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিবর্তিত হয়। শেষোক্ত বস্তুর উচ্চশক্তি ফসফেট বর্গ পাইরুভেট কাইনেজের প্রভাবাধীন একমুখী (irreversible) বিক্রিয়ার মাধ্যমে এডিপি অণুতে স্থানান্তরিত হইলে এটিপি এবং এনোল-পাইরুভিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে। কোনও কোনও অবস্থায় পাইরুভেট কাইনেজ গ্লাইকোলিসিসের **গতিনিয়ন্ত্রক এনজাইম** (rate limiting enzyme) রূপে বিবেচিত হয়।

এনোল-পাইরুভিক অ্যাসিড কোনও এনজাইমের সাহায্য ছাড়াই আপনা-আপনি পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। পেশীতে অক্সিজেনের উপস্থিতিতে গ্লাইকোলিসিসের সময়ে ইহাই উক্ত বিক্রিয়াপথের শেষ পদ—এক্ষেত্রে ট্রায়োজ ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের (গ্লিসের্যাল্ডিহাইড-3-ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ) ক্রিয়ার ফলে বিজারিত এন-এ-ডি-এইচ সরাসরি অক্সিজেনের সাহায্যেই জারিত হইয়া এন-এ-ডি পুনরুৎপন্ন করে। কিন্তু অক্সিজেনের অভাব থাকিলে শেষোক্ত এনজাইমের ক্রিয়া অব্যাহত রাখিবার জন্য এন-এ-ডি-এইচ হইতে হাইড্রোজেনকে ল্যাক্টেট ডিহাইড্রোজেনেজের সাহায্যে পাইরুভিক অ্যাসিডে স্থানান্তরিত করিয়া এন-এ-ডি পুনরুৎপাদন করা হয়, ফলে পাইরুভিক অ্যাসিড ল্যাক্টিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। লোহিত রক্তকণিকায় সকল অবস্থাতেই এবং পেশীতে অক্সিজেনবিহীন অবস্থায় ল্যাক্টিক অ্যাসিডই গ্লাইকোলিসিসের অন্তিম উৎপন্ন বস্তু (final product)। কার্বোহাইড্রেটের প্রত্যেক C_6-অংশের গ্লাইকোলিসিসের ফলে দুই অণু ল্যাক্টিক বা পাইরুভিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে।

আক্সিজেনাবহান বা অবায়ব (anaerobic) পরিবেশে প্রত্যেক C_6-অংশের গ্লাইকোলিসিসের ফলে নিম্নলিখিত পদদ্বয়ে মোট চারটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী (high-energy phosphate bond) সৃষ্ট হইয়া এটিপি অণুতে স্থাপিত হয় : (*a*) প্রত্যেক C_6-অংশ হইতে উৎপন্ন দুই অণু 1,3-ডাইফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিড হইতে দুই অণু 3-ফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিড উৎপাদনের সময়ে দুইটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী সৃষ্ট হয় ; (*b*) দুই অণু ফসফো-এনোল-পাইরুভিক অ্যাসিড হইতে দুই অণু এনোল-পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপাদনের সময়ে আরও দুইটি অনুরূপ বন্ধনী পাওয়া যায় (সারণী 17.1)। অন্যদিকে গ্লাইকোজেনের প্রত্যেক C_6-অংশের গ্লাইকোলিসিসের সময়ে ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেটকে ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেটে পরিণত করিতে একটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী ব্যয় হয়। অতএব অবায়ব পরিবেশে প্রত্যেক C_6-অংশের গ্লাইকোলিসিসের ফলে মোট তিনটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী লাভ হয়। কিন্তু আক্সিজেনযুক্ত বা বায়ব (aerobic) পরিবেশে প্রত্যেক C_6-অংশের গ্লাইকোলিসিসের সময়ে ট্রায়োজ ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় বিজারিত এন-এ-ডি অণুদ্বয়ের অক্সিজেনযোগে জারণের ফলে আরও ছয়টি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী এটিপি অণুতে সন্নিবেশিত হয় ; ফলে এই অবস্থায় মোট নয়টি ঐরূপ বন্ধনী লাভ হয়।

সারণী 17.1. গ্লাইকোজেনের প্রত্যেক C_6-অংশের গ্লাইকোলিসিসে উচ্চশক্তি ফসফেটের উৎপাদন ও ব্যয়।

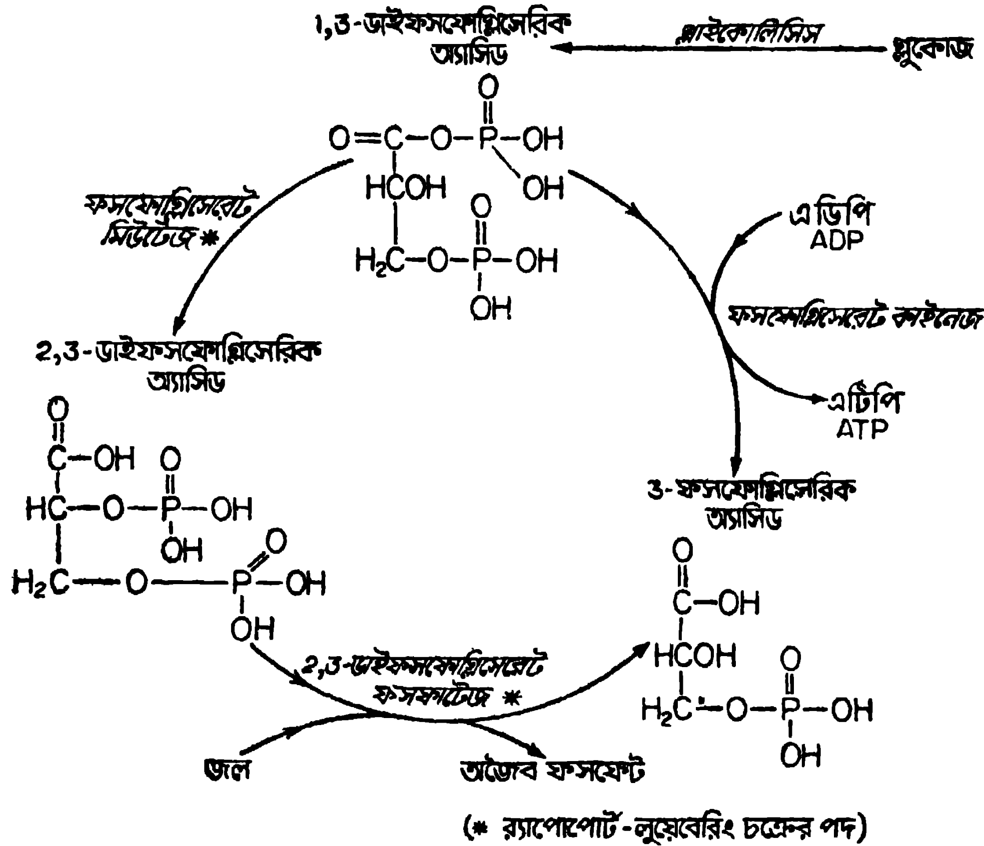
বিক্রিয়া	এনজাইম	উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী	
		অবায়ব পরিবেশে	বায়ব পরিবেশে
ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট→ ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেট	ফস্‌ফোফ্রুক্টোকাইনেজ	−1	−1
গ্লিসেরাল্‌ডিহাইড-3-ফসফেট →1,3-ডাইফসফোগ্লিসেরেট	ট্রায়োজ ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ		+6
1,3-ডাইফসফোগ্লিসেরেট→ 3-ফসফোগ্লিসেরেট	ফসফোগ্লিসেরেট কাইনেজ	+2	+2
ফসফো-এনোল-পাইরুভেট → এনোল-পাইরুভেট	পাইরুভেট কাইনেজ	+2	+2
	মোট লাভ	+3	+9

অগ্ন্যাশয়ের ইনসুলিন হর্মোনটি হেক্সোকাইনেজ, ফস্‌ফোফ্রক্‌টোকাইনেজ, পাইরুভেট কাইনেজ প্রভৃতি এনজাইমের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া গ্লাইকোলিসিস বর্ধিত করে ; অংশতঃ এজন্যই ইনসুলিনের অভাবজনিত মধুমেহ (diabetes mellitus) রোগে গ্লাইকোলিসিস কমিয়া গিয়া দেহের শক্তি উৎপাদনে কার্বোহাইড্রেটের ব্যবহার ব্যাহত হয়।

সরেখ (striated) ও অরেখ (unstriated) পেশী এবং লোহিত রক্তকণিকাকে গ্লাইকোলিসিস-নির্ভর কলা (glycolytic tissue) বলে, কারণ গ্লাইকোলিসিসই ইহাদের প্রয়োজনীয় শক্তির প্রধান উৎস।

17.7 র‍্যাপোপোর্ট-লুয়েবেরিং চক্র

লোহিত কণিকায় গ্লাইকোলিসিসের ফলে প্রয়োজনাতিরিক্ত শক্তি অর্থাৎ উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী যাহাতে জমিতে না পারে, সেজন্য ঐ কোষগুলিতে



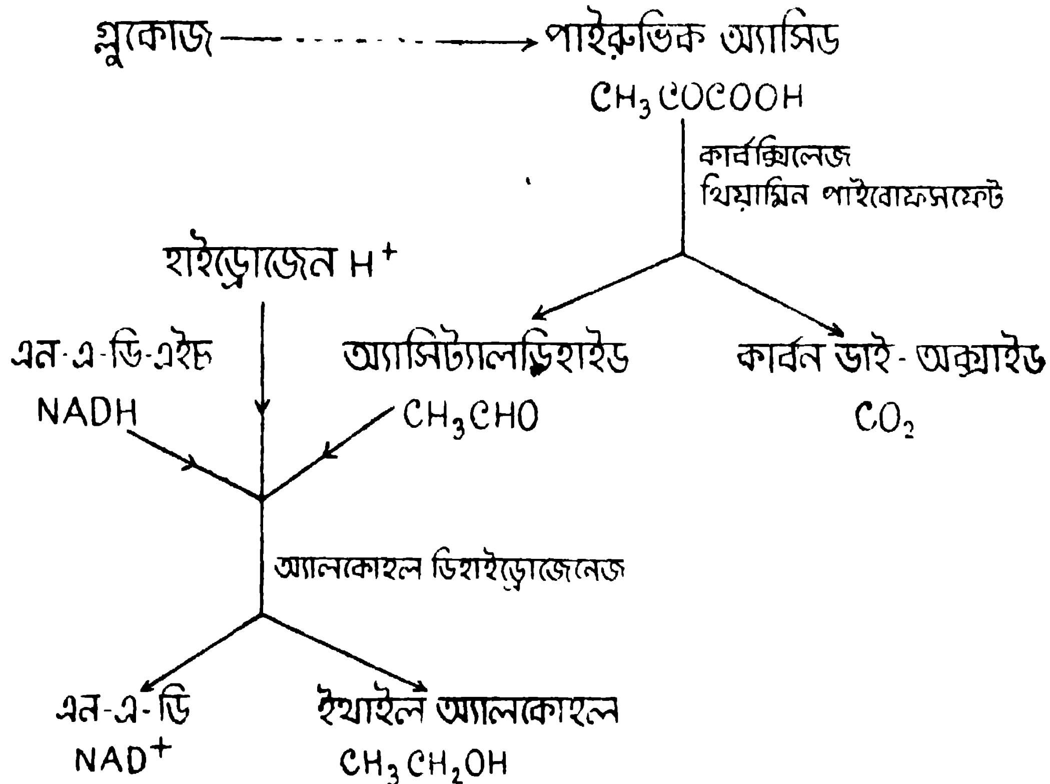
চিত্র 17.9. র‍্যাপোপোর্ট-লুয়েবেরিং চক্র।

র‍্যাপোপোর্ট-লুয়েবেরিং চক্র (Rapoport-Luebering cycle or RLC) নামে এক বিকল্প পদ্ধতির ব্যবস্থা আছে। গ্লাইকোলিসিসের সময়ে 1,3-ডাইফস্‌ফোগ্লিসেরিক অ্যাসিড হইতে ফস্‌ফোগ্লিসেরেট কাইনেজের ক্রিয়ায় একটি

উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী ও 3-ফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 17.8)। কিন্তু র‍্যাপোপোর্ট-লুয়েবেরিং চক্রে শেষোক্ত বিক্রিয়ার পরিবর্তে নিম্নলিখিত বিকল্প বিক্রিয়াগুলির মাধ্যমে 1,3-ডাইফসফোগ্লিসেরেট 3-ফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং উচ্চশক্তি এটিপি-র পরিবর্তে অজৈব ফসফেটের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 17.9)। প্রথমতঃ, ফসফোগ্লিসেরেট মিউটেজ 1,3-ডাইফসফোগ্লিসেরেটকে 2,3-ডাইফসফোগ্লিসেরেটে রূপান্তরিত করে—অক্সিজেনের অভাব ঘটিলে (hypoxia) লোহিত কণিকায় শেষোক্ত বস্তুটির পরিমাণ বাড়ে এবং উহা হিমোগ্লোবিনের অক্সিজেন-আসক্তি (oxygen affinity) কমাইয়া অক্সিহিমোগ্লোবিন হইতে অক্সিজেনকে মুক্ত করিয়া দিতে সাহায্য করে। দ্বিতীয় পর্যায়ে 2,3-ডাইফসফোগ্লিসেরেট 2,3-ডাইফসফোগ্লিসেরেট ফসফাটেজের প্রভাবে জলবিশ্লিষ্ট (hydrolysed) হইয়া 3-ফসফোগ্লিসেরেট ও অজৈব ফসফেটে পরিণত হয়। 3-ফসফোগ্লিসেরেট গ্লাইকোলিসিসের পরবর্তী পদগুলির মাধ্যমে বিপাচিত (metabolized) হইতে পারে।

17.8 গ্লুকোজের কিণ্বন (fermentation of glucose)

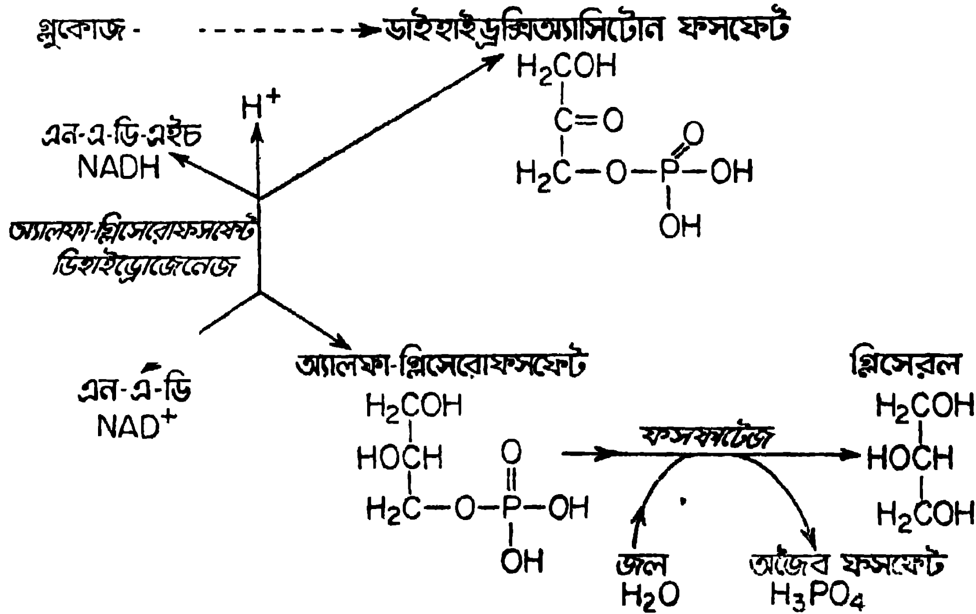
অবায়ব (anaerobic) পরিবেশে ল্যাক্টোব্যাসিলাস ও অন্যান্য ল্যাকটিক



চিত্র 17.10. গ্লুকোজের কিণ্বনের ফলে ইথাইল অ্যালকোহল উৎপাদন।

অ্যাসিড-উৎপাদক ব্যাকটেরিয়া গ্লুকোজের কিণ্বন ঘটাইয়া ল্যাকটিক অ্যাসিড উৎপাদন করে—এসকল ব্যাকটেরিয়া গ্লাইকোলিসিসের বিক্রিয়াগুলির মাধ্যমেই গ্লুকোজকে ল্যাকটেটে পরিণত করে।

ঈষ্ট অবায়ব পরিবেশে গ্লুকোজের কিণ্বন ঘটাইয়া ইথাইল অ্যালকোহল উৎপাদন করে (চিত্র 17.10)। এই প্রক্রিয়ায় প্রথমদিকের পদগুলিতে গ্লাইকোলিসিসের অনুরূপ বিক্রিয়ার মাধ্যমে গ্লুকোজ হইতে পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়; কিন্তু ইহার পরে পাইরুভিক অ্যাসিড পাইরুভেট ডিকার্বক্সিলেজ (কার্বক্সিলেজ) ও থিয়ামিন পাইরোফসফেটের (টিপিপি, TPP) প্রভাবে কার্বন ডাই-অক্সাইড হারাইয়া অ্যাসিট্যাল্ডিহাইডে পরিণত হয়; শেষোক্ত বস্তুটি অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজেনেজ নামক দস্তাঘটিত এনজাইমের ক্রিয়ায় এন-এ-ডি-এইচ (NADH) হইতে হাইড্রোজেন লাভ করিয়া বিজারিত হয় এবং ইথাইল অ্যালকোহলে পরিণত হয়। গ্লাইকোলিসিসে ল্যাকটেট উৎপাদনের পদটির মতই অ্যালকোহল উৎপাদনের পদে ব্যবহৃত এন-এ-ডি-এইচ ট্রায়োজ ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়াধীন পূর্ববর্তী পদটিতে উৎপন্ন হয়। কিণ্বনের প্রথমদিকে পর্যাপ্ত পরিমাণে অ্যাসিট্যাল্ডিহাইড



চিত্র 17.11. গ্লুকোজের কিণ্বনের ফলে গ্লিসেরলের উৎপাদন।

না থাকায় উপরি-উক্ত এন-এ-ডি-এইচ হইতে হাইড্রোজেন অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট অণুতে স্থানান্তরিত হয়, ফলে অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেট উৎপন্ন হয় এবং

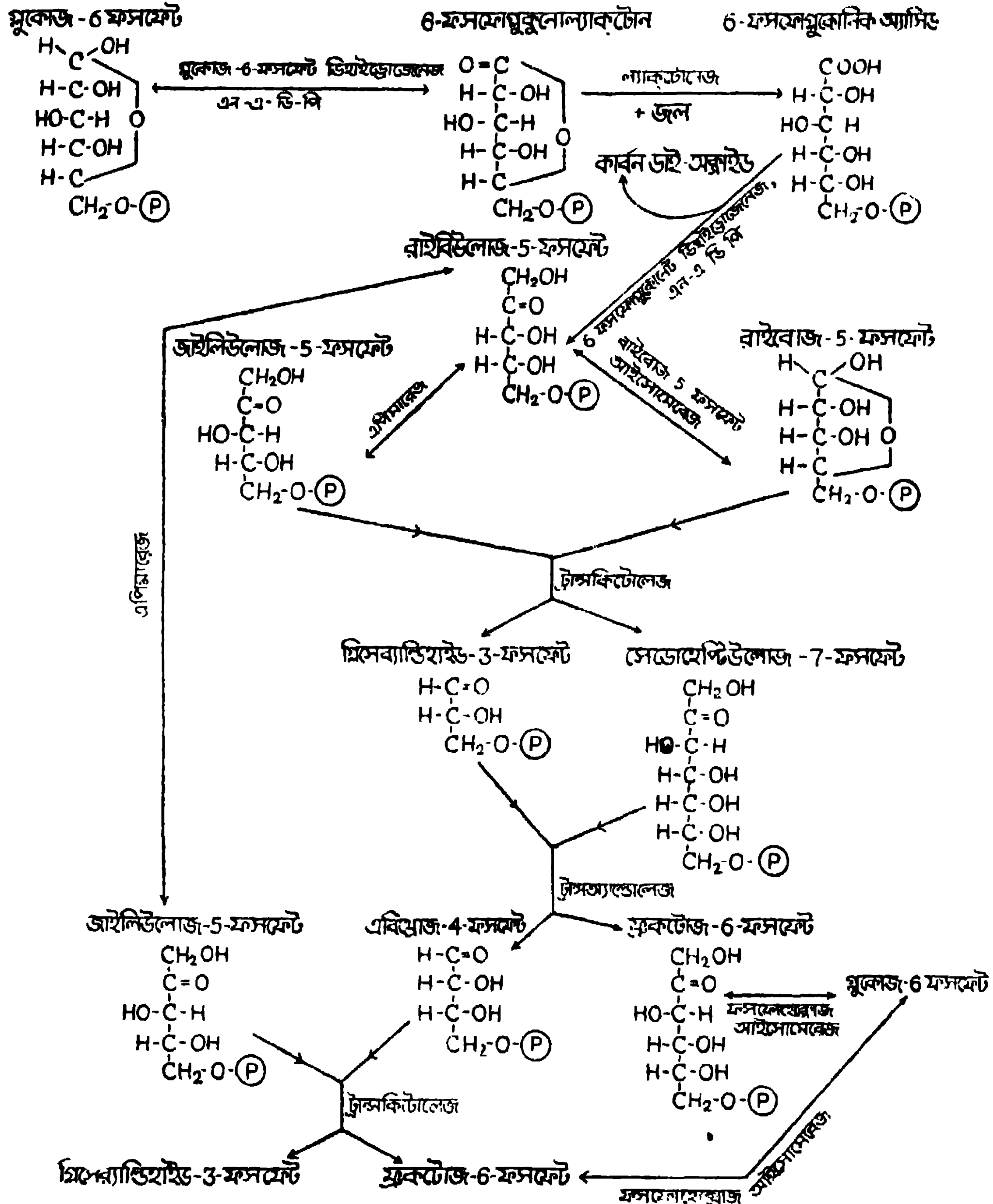
শেষোক্ত বস্তুটি ফসফাটেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লেষের ফলে গ্লিসেরল ও অজৈব ফসফেটে পরিণত হয় (চিত্র 17.11)। ঈস্ট-ঘটিত কিণ্বনের সময়ে এভাবে অল্পস্বল্প গ্লিসেরলও উৎপন্ন হয়।

অ্যাসেটিক অ্যাসিড-উৎপাদক ব্যাকটেরিয়াগুলি গ্লুকোজের কিণ্বন ঘটাইয়া অ্যাসেটিক অ্যাসিড উৎপাদন করে। প্রথমে ঈস্ট-ঘটিত কিণ্বনের অনুরূপ পদগুলির মাধ্যমে ইহারা গ্লুকোজকে অ্যাসিট্যাল্‌ডিহাইডে পরিণত করে। অতঃপর এন-এ-ডি (NAD^+), কোএনজাইম এ এবং কয়েকটি এনজাইমের সাহায্যে অ্যাসিট্যাল্‌ডিহাইড জারিত হইয়া অ্যাসেটিক অ্যাসিড দান করে এবং এই বিক্রিয়াজাত শক্তি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনীর আকারে সঞ্চয় করা হয়।

17.9 পেন্টোজ ফসফেট পথ

চোখের লেন্‌স্‌, হৃৎপেশী, সরেখ (striated) পেশী, লোহিত রক্তকণিকা, বৃক্ক ও অন্য অনেক কলায় গ্লাইকোলিসিস্‌ই কার্বোহাইড্রেট বিপাকের মুখ্য পথ। কিন্তু যকৃত, অ্যাড্রেন্যাল গ্রন্থির বাহ্যাংশ বা কর্টেক্স (cortex), শুক্রাশয় (testis), ডিম্বাশয় (ovary), মেদকলা (adipose tissue), দুগ্ধক্ষরণকারী (lactating) স্তন প্রভৃতি কলায় গ্লাইকোলিসিসের পরিবর্তে পেন্টোজ ফসফেট পথ বা হেক্সোজ মোনোফসফেট শাণ্ট (hexose monophosphate shunt or pentose phosphate pathway) নামক একটি বিকল্প পদ্ধতিতেও উল্লেখযোগ্য পরিমাণে কার্বোহাইড্রেটের বিপাক ঘটে। পেন্টোজ ফসফেট পথে হেক্সোজ শর্করা হইতে পেন্টোজ শর্করা সংশ্লেষিত হয়। পেন্টোজ শর্করাগুলির বিপাকের সময়ে এই পথেই সেগুলি গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড-3-ফসফেটে পরিণত হইয়া গ্লাইকোলিসিসের পথে প্রবেশ করে। তাহা ছাড়া পেন্টোজ ফসফেট পথে এন-এ-ডি-পি ($NADP^+$) অণুর বিজারণের ফলে এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH) অণু উৎপন্ন হয় এবং তাহা মেদকলা ও স্তনে ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষণে, যকৃতে কোলেস্টেরল সংশ্লেষণে এবং শুক্রাশয়, ডিম্বাশয় ও অ্যাড্রেন্যালে কোলেস্টেরল ও স্টেরয়েড হর্মোনগুলির সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। বস্তুতঃ যে-সকল কলায় এজাতীয় বিজারণ-নির্ভর সংশ্লেষণ (reductive synthesis) সম্পন্ন হয়, সেখানেই এই পথের গুরুত্ব সমধিক। লোহিত রক্তকণিকায় পেন্টোজ ফসফেট পথে উৎপন্ন এন-এ-ডি-পি-এইচ বস্তুটি হিমোগ্লোবিনের জারণ নিবারণে ও মেট্‌হিমোগ্লোবিনের (methaemoglobin) বিজারণের দ্বারা হিমোগ্লোবিনের পুনরুৎপাদনে ব্যবহৃত

হয়। শ্বেত রক্তকণিকায় পেন্টোজ ফসফেট পথে উৎপন্ন এন-এ-ডি-পি-এইচ জীবাণুনাশক সুপার-অক্সাইড মূলক বা সুপার-অক্সাইড র‍্যাডিক্যাল (O_2^-) উৎপাদনে অংশগ্রহণ করে।



চিত্র 17.12. পেন্টোজ ফসফেট পথ।

গ্লাইকোলিসিসের এনজাইমগুলির মত পেন্টোজ ফসফেট পথের এনজাইমগুলিও কোষের সাইটোসলে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। গ্লুকোজ হইতে উৎপন্ন গ্লুকোজ-6-ফসফেট এন-এ-ডি-পি ($NADP^+$) ও গ্লুকোজ-6-ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের প্রভাবে জারিত (oxidized) হইয়া 6-ফসফোগ্লুকুনো-ল্যাক্টোনে পরিণত হয় এবং এন-এ-ডি-পি বিজারিত (reduced) হইয়া

এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH) উৎপাদন করে (চিত্র 17.12)। ল্যাক্টোনেজ বা গ্লুকুনোল্যাক্টোন হাইড্রোলেজের প্রভাবে 6-ফসফোগ্লুকুনোল্যাক্টোন ও জলের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া 6-ফসফোগ্লুকোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। শেষোক্ত বস্তুটি এন-এ-ডি-পি ও 6-ফসফোগ্লুকোনেট ডিহাইড্রোজেনেজের প্রভাবে তৃতীয় কার্বন-সংলগ্ন হাইড্রোজেন এবং কার্বক্সিল বর্গ হইতে কার্বন ডাই-অক্সাইড হারাইয়া রাইবিউলোজ-5-ফসফেট নামক পেন্টোজ ফসফেটে পরিণত হয় এবং এন-এ-ডি-পি বিজারিত হইয়া এন-এ-ডি-পি-এইচ দান করে। এইভাবে তিন অণু গ্লুকোজ-6-ফসফেট হইতে তিন অণু রাইবিউলোজ-5-ফসফেট উৎপন্ন হয়। শেষোক্ত তিনটি অণুর মধ্যে একটি অণু রাইবোজ-5-ফসফেট কিটোআইসোমেরেজের প্রভাবে রাইবোজ-5-ফসফেটে এবং অপর দুইটি অণুর প্রত্যেকটিই ফসফোকিটোপেন্টোএপিমারেজের সাহায্যে জাইলিউ-লোজ-5-ফসফেটে পরিবর্তিত হয়। অতঃপর ট্রান্সকিটোলেজ ও থিয়ামিন পাইরোফসফেটের (টিপিপি, TPP) প্রভাবে রাইবোজ-5-ফসফেট ও এক অণু জাইলিউলোজ-5-ফসফেটের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া এক অণু সেডোহেপ্টিউলোজ-7-ফসফেট নামক হেপ্টোজ (C_7) শর্করার ফসফেট এবং এক অণু গ্লিসের‍্যাল্ডিহাইড 3-ফসফেট উৎপন্ন হয়। পরবর্তী পদে ট্রান্সঅ্যাল্ডোলেজের প্রভাবে সেডোহেপ্টিউলোজ-7-ফসফেট ও গ্লিসের‍্যাল্ডিহাইড-3-ফসফেটের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে এক অণু ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট এবং এক অণু এরিথ্রোজ-4-ফসফেট নামক টেট্রোজ (C_4) শর্করার ফসফেট তৈয়ারি হয়। শেষোক্ত অণুটির সহিত পূর্বোক্ত জাইলিউলোজ-5-ফসফেটের দ্বিতীয় অণুটির বিক্রিয়া ঘটিয়া আরও এক অণু ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট এবং এক অণু গ্লিসের‍্যালডিহাইড-3-ফসফেটের উৎপত্তি ঘটে—এই বিক্রিয়াটিও ট্রান্সকিটোলেজ ও টিপিপি-র সহায়তায় ঘটিয়া থাকে।

এইভাবে পেন্টোজ ফসফেট পথের মাধ্যমে তিন অণু গ্লুকোজ-6-ফসফেট হইতে দুই অণু ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট এবং এক অণু গ্লিসের‍্যাল্ডিহাইড-3-ফসফেট পাওয়া যায়। ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেটের অণুদ্বয় ফসফোহেক্সোজ আইসোমেরেজের ক্রিয়ায় দুই অণু গ্লুকোজ-6-ফসফেটে পরিণত হইতে পারে ; গ্লিসের‍্যাল্ডিহাইড-3-ফসফেট অণুটিও অনুরূপ দ্বিতীয় একটি ট্রায়োজ (C_3) ফসফেটের সহিত মিলিয়া নানা বিক্রিয়ার মাধ্যমে পরিণামে এক অণু গ্লুকোজ-6-ফসফেট উৎপাদন করে। অর্থাৎ পেন্টোজ ফসফেট পথে তিনটি গ্লুকোজ-6-ফসফেট অণুর একবার আবর্তনের ফলে প্রত্যেকের কেবল প্রথম স্থানের কার্বন (C^1) জারিত হইয়া কার্বন ডাই-অক্সাইডে পরিণত হয়। এই পথের

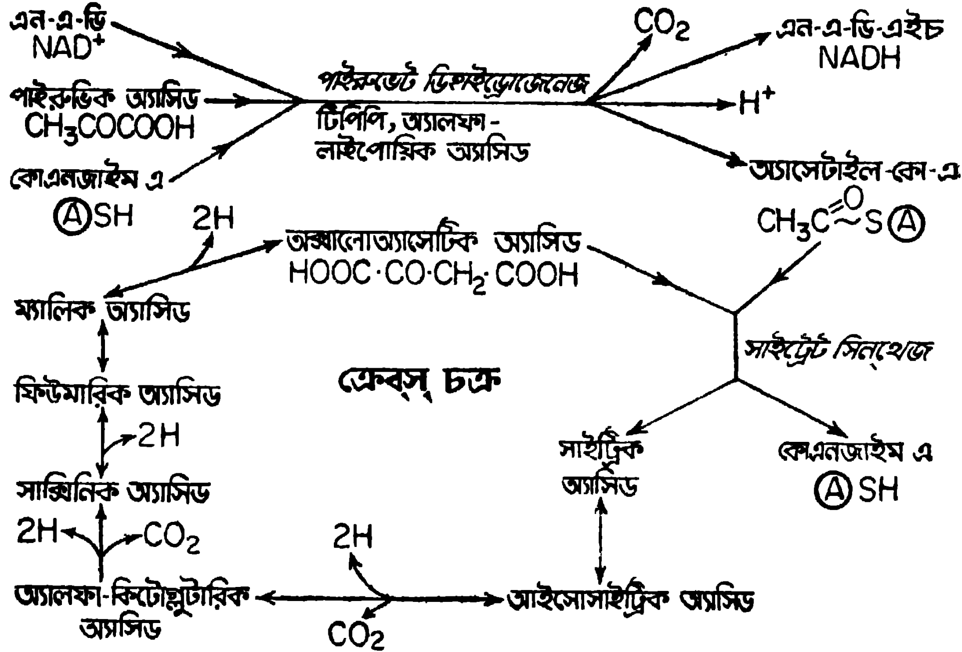
প্রথম দুইটি ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় এন-এ-ডি-পি বিজারিত হইয়া যে এন-এ-ডি-পি-এইচ উৎপন্ন হয়, তাহা কোলেস্টেরল, ফ্যাটি অ্যাসিড প্রভৃতির বিজারণ-নির্ভর সংশ্লেষণে (reductive synthesis) ব্যবহৃত হয় ; ইনসুলিন ঐ দুইটি ডিহাইড্রোজেনেজের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণে সাহায্য করে। তাহা ছাড়া এই পথে উৎপন্ন রাইবোজ-5-ফসফেট নিউ-ক্লিওটাইড উৎপাদনে প্রযুক্ত হয় : বস্তুতঃ নিউক্লিইক অ্যাসিড, এন-এ-ডি, এন-এ-ডি-পি, এটিপি, ইউটিপি প্রভৃতি অণুর রাইবোজ অংশ এভাবেই পেণ্টোজ ফসফেট পথ হইতে আসে। প্রকৃতপক্ষে, স্বাভাবিক অবস্থায় কার্বোহাইড্রেট জারণের দ্বারা শক্তি উৎপাদনের কার্যে পেণ্টোজ ফসফেট পথের গুরুত্ব নগণ্য : ইহার প্রধান গুরুত্ব দুইটি—বিজারণ-নির্ভর সংশ্লেষণের জন্য এন-এ-ডি-পি-এইচ এবং নিউক্লিওটাইড সংশ্লেষণের জন্য রাইবোজ-5-ফসফেট সরবরাহ করা।

17.10 সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র

অক্সিজেনের অভাব না থাকিলে গ্লাইকোলিসিসের ফলে উৎপন্ন পাইরুভিক অ্যাসিড বায়ব বিপাকের (aerobic metabolism) মাধ্যমে সম্পূর্ণ জারিত হইয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড ও জলে পরিণত হয় এবং প্রভূত শক্তি উৎপাদন করে ; ল্যাক্টিক অ্যাসিডও অক্সিজেনের উপস্থিতিতে এন-এ-ডি ও ল্যাক্টেট ডিহাইড্রোজেনেজের দ্বারা পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হইয়া বায়ব বিপাকপথে সম্পূর্ণ জারিত হয়। বায়ব বিপাকের সময়ে পাইরুভিক অ্যাসিড প্রথমে সাইটোসল হইতে মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতরে গিয়া পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগ (complex) নামক এনজাইম-সমষ্টির ক্রিয়ায় জারিত হইয়া ও কোএনজাইম এ অণুতে যুক্ত হইয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ (acetyl-CoA) উৎপাদন করে ; অতঃপর শেষোক্ত বস্তুটির অ্যাসিটেট অংশ অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিডের অণুতে যুক্ত হইয়া মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতরে ক্রেব্স্-বর্ণিত সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র বা ট্রাইকার্বক্সিলিক অ্যাসিড চক্র (Krebs' citric acid cycle or tricarboxylic acid cycle or TCA cycle) নামক পথের মাধ্যমে সম্পূর্ণ জারিত হইয়া যায় (চিত্র 17.13)। সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের এনজাইমগুলি মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতরে তরল ধাত্রে (matrix) বর্তমান। ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণের (beta-oxidation) ফলে উৎপন্ন অ্যাসেটাইল-কো-এ এবং শর্করাপ্রদ (glycogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির আংশিক বিপাকজাত নানাপ্রকার কিটো-অ্যাসিডও সাইট্রিক

অ্যাসিড চক্রের দ্বারা জারিত হয়। হৃৎপেশী (cardiac muscle), যকৃত, মস্তিষ্ক ও বৃক্কে এই চক্রের মাধ্যমে প্রভূত শক্তি উৎপন্ন হয়, কিন্তু পেশীতে গ্লাইকোলিসিসের তুলনায় সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের গুরুত্ব অনেক কম এবং লোহিত রক্তকণিকায় এই চক্রের আদৌ অস্তিত্ব নাই।

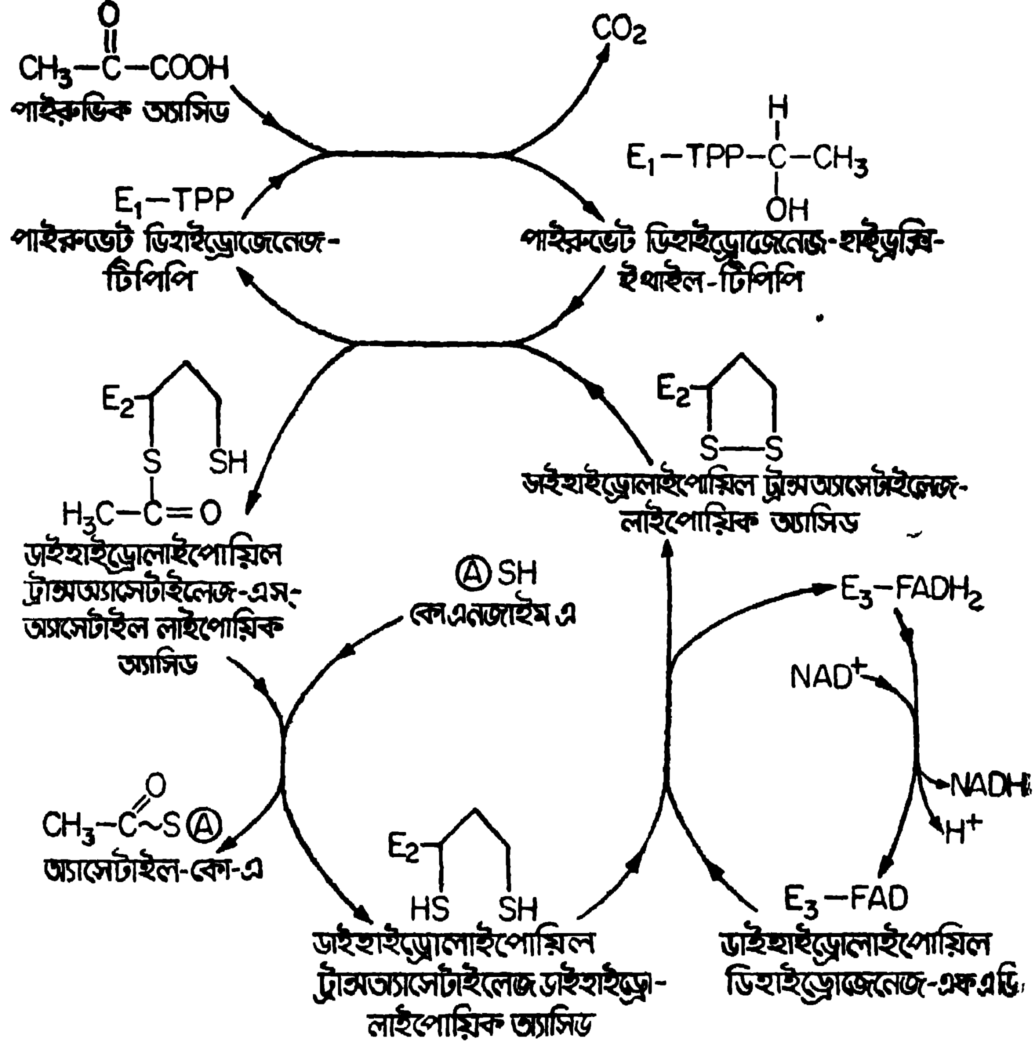
পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগ নামক এনজাইম-সমষ্টি মাইটোকন্ড্রিয়ার তরল ধাত্রে পাইরুভিক অ্যাসিডের জারণধর্মী কার্বক্সিল-অপসারণের (oxidative decarboxylation) দ্বারা অ্যাসেটাইল-কো-এ (অ্যাসিটেট-কোএনজাইম এ যৌগ) উৎপাদন করে; শেষোক্ত বস্তুটি **সক্রিয় অ্যাসিটেট**



চিত্র **17.13.** কার্বোহাইড্রেটের বায়ব বিপাকের সংক্ষিপ্তসার।

(active acetate) নামে পরিচিত, কারণ উচ্চশ্রেণীর প্রাণিদেহে এই আকারেই অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও অ্যাসেটাইল বর্গ উৎপন্ন, ব্যবহৃত ও বিপাচিত (metabolized) হয়। পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগের তিন বিভিন্ন অংশের ক্রিয়া নিম্নরূপ (চিত্র 17.14): (*a*) থিয়ামিন পাইরোফসফেট বা টিপিপি-র (TPP) সহিত আবদ্ধ **পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ** নামক প্রথমাংশটি পাইরুভিক অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গকে কার্বন ডাই-অক্সাইড আকারে মুক্ত করিয়া দিয়া অবশিষ্টাংশকে হাইড্রক্সিইথাইল বর্গরূপে টিপিপি-র সহিত বাঁধিয়া রাখে। (*b*) হাইড্রক্সিইথাইল জারিত হইয়া অ্যাসেটাইল বর্গরূপে **ডাইহাইড্রোলাইপোয়িল ট্রান্সঅ্যাসেটাইলেজ** নামক দ্বিতীয়াংশে আবদ্ধ

অ্যালফা-লাইপোয়িল (α-lipoyl) বর্গে যুক্ত হয় ; তাহা ছাড়া ঐ জারণের সময়ে অপসৃত হাইড্রোজেন উক্ত লাইপোয়িল বর্গের বিজারণ (reduction) ঘটাইয়া তাহাকে ডাইহাইড্রোলাইপোয়িল বর্গে পরিণত করে। (*c*) ডাই-হাইড্রোলাইপোয়িল বর্গ হইতে অ্যাসেটাইল বর্গটি কোএনজাইম এ অণুতে

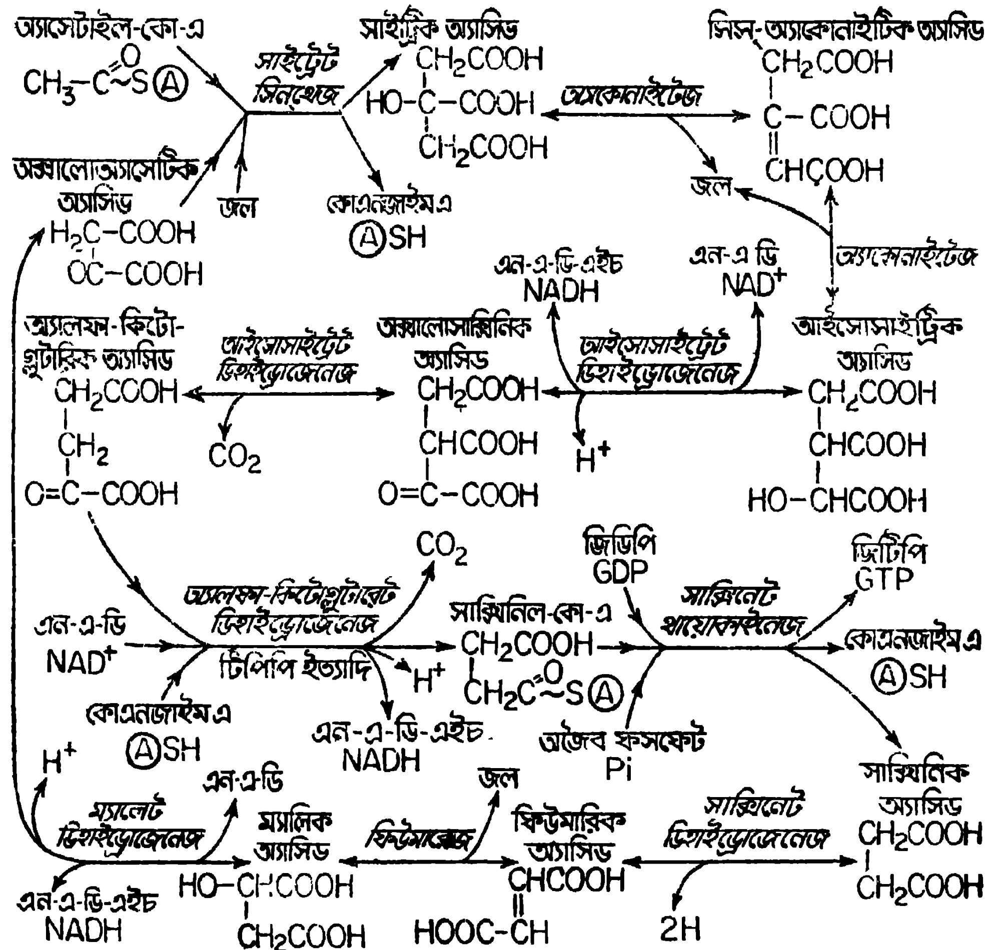


চিত্র 17.14. পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগের ক্রিয়ায় পাইরুভেট হইতে অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপাদন। E_1, E_2, E_3 : এনজাইম-সমষ্টির তিনটি অংশ।

স্থানান্তরিত হইলে অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন হয়। (*d*) এনজাইম-সমষ্টির ডাইহাইড্রোলাইপোয়িল ডিহাইড্রোজেনেজ নামক তৃতীয়াংশে আবদ্ধ এফ-এ-ডি (FAD) উপরি-উক্ত ট্রান্সঅ্যাসেটাইলেজের ডাইহাইড্রোলাইপোয়িল বর্গকে জারিত করিয়া অ্যাল্ফা-লাইপোয়িল বর্গে পরিণত করে। (*e*) শেষোক্ত বিক্রিয়ায় যে এফ-এ-ডি বিজারিত হয়, এন-এ-ডি (NAD^+) ও মাইটোকন্ড্রিয়ার

ইলেক্‌ট্রনবাহী এনজাইমগুলির ক্রিয়ায় এবং অক্সিজেনের সাহায্যে তাহার জারণের সময়ে তিনটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী সৃষ্ট হইয়া এটিপি অণুতে সন্নিবেশিত হয়।

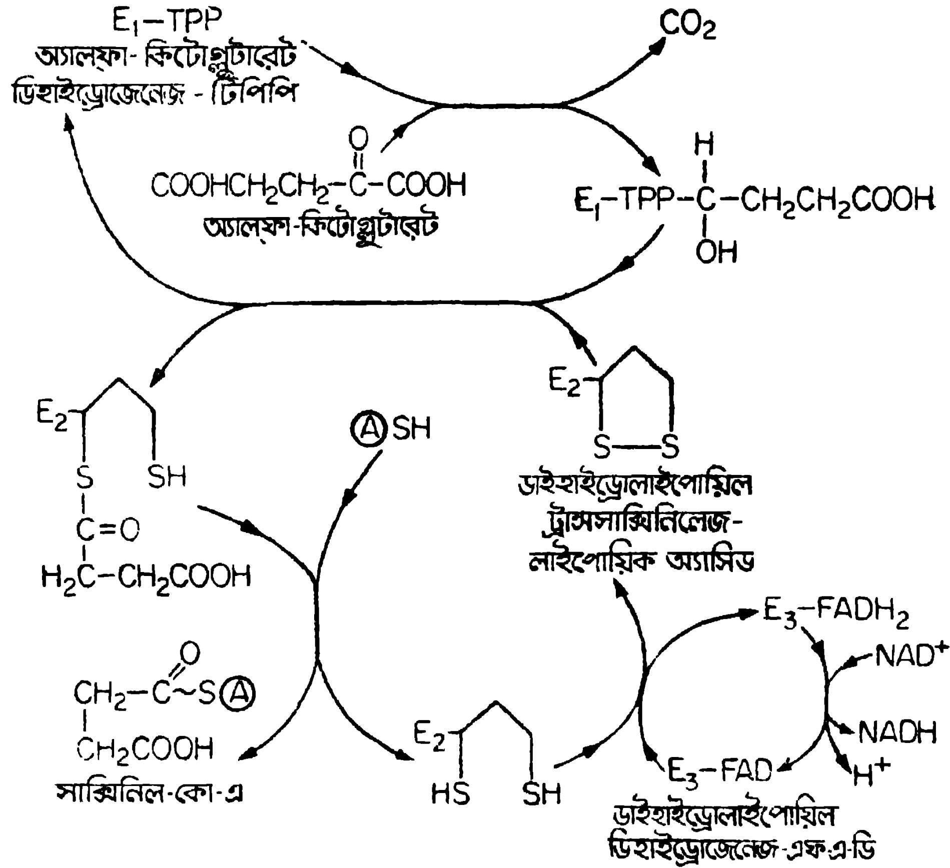
অতঃপর সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের প্রথম বিক্রিয়ায় সাইট্রেট সিন্‌থেজের প্রভাবে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর অ্যাসিটেট অংশ (C_2) অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিডে (C_4) যুক্ত হইলে সাইট্রিক অ্যাসিড (C_6) উৎপন্ন হয় এবং কোএনজাইম এ মুক্ত হইয়া যায় (চিত্র 17.15)। ইহার পরে



চিত্র 17.15. সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র।

অ্যাকোনাইটেজের ক্রিয়ায় সাইট্রিক অ্যাসিড অণুতে হাইড্রোজেন ও হাইড্রক্সিল বর্গের অবস্থান কিছু পুনর্বিন্যস্ত হইলে আইসোসাইট্রিক অ্যাসিডের (C_6) উৎপত্তি ঘটে; এই বিক্রিয়ার অন্তর্বর্তী পদে সিস্‌-অ্যাকোনাইটিক (cis-aconitic) অ্যাসিডের উৎপত্তি সম্বন্ধে নিশ্চয়তার অভাব আছে। এন-এ-ডি এবং আইসোসাইট্রেট ডিহাইড্রোজেনেজের প্রভাবে আইসো-

সাইট্রিক অ্যাসিড জারিত হইলে অক্সালোসাক্সিনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়; এই বিক্রিয়ায় বিজারিত এন-এ-ডি অণুর পুনর্বার জারণের সময়ে তিনটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী উৎপন্ন হয়। ইহার পরেই শেষোক্ত এনজাইমের প্রভাবেই অক্সালোসাক্সিনেটের (C_6) দ্বিতীয় কার্বক্সিল বর্গটি কার্বন ডাই-অক্সাইড আকারে মুক্তিলাভ করিলে অ্যালফা-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড (C_5) উৎপন্ন হয়।



চিত্র 17.16. অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগের ক্রিয়ায় অ্যালফা কিটোগ্লুটারেট হইতে সাক্সিনিল-কো-এ উৎপাদন। E_1, E_2, E_3 : এনজাইম-সমষ্টির তিনটি অংশ।

অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগ নামক এনজাইম-সমষ্টি অ্যালফা-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিডের জারণধর্মী কার্বক্সিল-অপসারণের দ্বারা সাক্সিনিল-কো-এ উৎপাদন করে (চিত্র 17.16)। এই এনজাইম যৌগটিই সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মুখ্য গতিনিয়ন্ত্রক এনজাইম (rate-limiting enzyme)। ইহার তিনটি অংশের ক্রিয়া পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগের অনুরূপ: (*a*) টিপিপি-র সহিত আবদ্ধ **অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট ডিহাইড্রোজেনেজ** নামক প্রথমাংশটি অ্যালফা-কিটোগ্লুটারিক

অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গকে কার্বন ডাই-অক্সাইড রূপে মুক্তি দিয়া অবশিষ্টাংশকে অ্যালফা-হাইড্রক্সি-গামা-কার্বক্সিপ্রোপিল বর্গের আকারে টিটিপি-র সহিত বাঁধিয়া রাখে। (*b*) শেষোক্ত বর্গটি জারিত হইয়া সাক্সিনিল বর্গরূপে এনজাইম-যৌগের ডাইহাইড্রোলাইপোয়িল ট্রান্সসাক্সিনিলেজ নামক দ্বিতীয়াংশে আবদ্ধ অ্যালফা-লাইপোয়িল বর্গে যুক্ত হয় ; জারণকালে অপসৃত হাইড্রোজেন শেষোক্ত বর্গটিকে বিজারিত করিয়া ডাইহাইড্রোলাইপোয়িল বর্গে পরিণত করে। (*c*) উক্ত ডাইহাইড্রোলাইপোয়িল বর্গের গাত্র হইতে সাক্সিনিল বর্গটি কোএনজাইম এ অণুতে স্থানান্তরিত হইলে সাক্সিনিল-কো-এ উৎপন্ন হয়। (*d*) এনজাইম-যৌগের ডাইহাইড্রোলাইপোয়িল ডিহাইড্রোজেনেজ নামক তৃতীয়াংশে যুক্ত এফ-এ-ডি উপরি-উক্ত ট্রান্সসাক্সিনিলেজের ডাইহাইড্রো-লাইপোয়িল বর্গকে জারিত করিয়া আবার অ্যালফা-লাইপোয়িল বর্গে পরিণত করে। (*e*) শেষোক্ত বিক্রিয়ায় বিজারিত এফ-এ-ডি (FAD) মাইটোকন্ড্রিয়ার ইলেকট্রনবাহী এনজাইম, এন-এ-ডি এবং অক্সিজেনের সাহায্যে জারিত হওয়ার সময়ে এটিপির আকারে তিনটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী সৃষ্ট হয়।

অতঃপর সাক্সিনিল-কো-এ হইতে কোএনজাইম এ অংশ সাক্সিনেট থায়োকাইনেজের প্রভাবে মুক্ত হইলে সাক্সিনিক অ্যাসিড (C_4) উৎপন্ন হয় এবং ঐ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন শক্তির সাহায্যে অজৈব ফসফেট একটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী দিয়া গুয়ানোসিন ডাইফসফেটে (GDP) যুক্ত হইলে গুয়ানোসিন ট্রাইফসফেটের (GTP) উৎপত্তি ঘটে।

ইহার পরে সাক্সিনেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় সাক্সিনিক অ্যাসিড জারিত হইয়া ফিউমারিক অ্যাসিডে (C_4) পরিণত হয় এবং দুইটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী সৃষ্ট হইয়া এটিপি অণুতে সন্নিবেশিত হয়। ফিউমারেজের (fumarase) প্রভাবে জল ও ফিউমারিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া ঘটিয়া ম্যালিক অ্যাসিড (C_4) উৎপন্ন হয়। এন-এ-ডি এবং ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় ম্যালিক অ্যাসিড জারিত হইয়া পুনর্বার অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিডের (C_4) উৎপত্তি ঘটে ; অবশ্য আইসোটোপ লইয়া পরীক্ষায় দেখা যায় যে, চক্রের শেষে প্রাপ্ত অক্সালোঅ্যাসিটেট অণুর মাত্র অর্ধাংশ চক্রের সূচনায় ব্যবহৃত অক্সালোঅ্যাসিটেট হইতে এবং বাকী অর্ধাংশ অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর অ্যাসিটেট অংশ হইতে উদ্ভূত। ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় ম্যালিক অ্যাসিডের জারণের ফলে তিনটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী সৃষ্ট হয়।

পাইরুভেটের বায়ব বিপাকের বিভিন্ন পদে উৎপন্ন উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনীর হিসাবের সংক্ষিপ্তসার সারণী 17.2-এ দ্রষ্টব্য। পাইরুভেট (C_3) বিপাকে

উৎপন্ন উচ্চশক্তি ফসফেটের তুলনায় দ্বিগুণ অর্থাৎ তিরিশটি ঐজাতীয় বন্ধনী প্রত্যেক C_6-অণুর বায়ব বিপাকের ফলে সৃষ্ট হয়।

সারণী 17.2. কার্বোহাইড্রেটের বায়ব বিপাকে উচ্চশক্তি ফসফেটের উৎপাদন।

বিক্রিয়া	এনজাইম	উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী	
		C_3-অণু হইতে	C_6-অণু হইতে
পাইরুভেট→অ্যাসেটাইল-কো-এ	পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ	3	6
আইসোসাইট্রেট→অক্সালোসাক্সিনেট	আইসোসাইট্রেট ডিহাইড্রোজেনেজ	3	6
আলফা-কিটোগ্লুটারেট→সাক্সিনিল-কো-এ	অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট ডিহাইড্রোজেনেজ	3	6
সাক্সিনিল-কো-এ→সাক্সিনেট	সাক্সিনেট থায়োকাইনেজ	1	2
সাক্সিনেট→ফিউমারেট	সাক্সিনেট ডিহাইড্রোজেনেজ	2	4
ম্যালেট→অক্সালোঅ্যাসিটেট	ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজ	3	6
	মোট	15	30

17.11 ইউরোনিক অ্যাসিড পথ

দেহে গ্লুকোজের জারণের মাধ্যমে গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড, গ্যালাক্টিউরোনিক অ্যাসিড প্রভৃতি হেক্সিউরোনিক অ্যাসিড (hexuronic acid) উৎপাদনের পথটি ইউরোনিক অ্যাসিড পথ (uronic acid pathway) নামে পরিচিত। যকৃত, অস্থি, তরুণাস্থি (cartilage), কণ্ডরা (tendon) প্রভৃতি কলায় এই পথে যথেষ্ট হেক্সিউরোনিক অ্যাসিড সংশ্লেষিত হয়।

গ্লুকোজ হইতে হেক্সোকাইনেজ ও এটিপি-র সাহায্যে গ্লুকোজ-6-ফসফেট উৎপাদনের পরে শেষোক্ত বস্তুটি ফসফোগ্লুকোমিউটেজ এনজাইমের দ্বারা গ্লুকোজ-1-ফসফেটে পরিণত হয়। ইউডিপি-গ্লুকোজ পাইরোফসফোরিলেজের (UDPG-pyrophosphorylase) ক্রিয়ায় গ্লুকোজ-1-ফসফেটের সহিত ইউরিডিন ট্রাইফসফেটের (UTP) বিক্রিয়া ঘটিয়া ইউডিপি-গ্লুকোজ ও অজৈব পাইরোফসফেট উৎপন্ন হয়। অতঃপর ইউডিপি-গ্লুকোজ ডিহাইড্রোজেনেজ (UDPG dehydrogenase) এবং এন-এ-ডি (NAD^+) ইউডিপি-গ্লুকোজের গ্লুকোজ অংশের ষষ্ঠ কার্বনের (C^6) অ্যালকোহল বর্গটিকে জারিত

করিয়া অ্যাসিড বর্গে পরিণত করিলে ইউডিপি-গ্লুকোজ ইউডিপি-গ্লুকুরোনিক অ্যাসিডে পরিবর্তিত হয় (চিত্র 17.17)। শেষোক্ত বস্তু হইতে গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড অংশটি এনজাইমের প্রভাবে কনড্রয়টিন সালফেট, হায়ালিউরোনিক অ্যাসিড প্রভৃতি মিউকোপলিস্যাকারাইডের অণুতে সন্নিবেশিত হয় ; আবার যকৃতে গ্লুকুরোনিল ট্রান্সফেরেজ নামক এনজাইমের ক্রিয়ায় ইউডিপি-গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড হইতে গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড অংশটি মর্ফিন, ফেনল, বেনজোইক অ্যাসিড, বিলিরুবিন, স্টেরয়েড প্রভৃতির অণুতে যুক্ত হইয়া নানা প্রকার গ্লুকুরোনাইড উৎপন্ন করে—এভাবে যকৃতে বহু হানিকর বস্তুর নির্বিষকরণ (detoxication) সম্পন্ন হয় (পৃ. 81 দ্রষ্টব্য)।

গ্লুকোজ
এটিপি
হেক্সোকাইনেজ
গ্লুকোজ-6-ফসফেট
এডিপি
ফসফোগ্লুকোমিউটেজ
অজৈব পাইরোফসফেট
গ্লুকোজ-1-ফসফেট
ইউটিপি-গ্লুকোজ পাইরোফসফোরিলেজ
ইউটিপি
ইউডিপি-গ্লুকোজ
ইউডিপি-গ্লুকোজ ডিহাইড্রোজেনেজ
এন-এ-ডি
ইউডিপি-গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড
এন-এ-ডি
ইউডিপি-গ্যালাক্টোজ-4-এপিমারেজ
ইউডিপি-গ্যালাক্টোজ
ল্যাকটোজ সিনথেটেজ
ল্যাকটোজ
গ্লুকোজ
ইউডিপি

চিত্র 17.17. গ্লুকোজ হইতে গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড ও ল্যাক্টোজের উৎপাদন।

ইউডিপি-গ্লুকুরোনিক অ্যাসিড হইতে পৃথক পৃথক এপিমারেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ইউডিপি-আইডিউরোনিক (UDP-iduronic) অ্যাসিড এবং ইউডিপি-গ্যাল্যাক্টিউরোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। শেষোক্ত বস্তুগুলিও নানাপ্রকার মিউকোপলিস্যাকারাইড সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়।

17.12 অ্যামাইনো শর্করা উৎপাদন

হায়ালিউরোনিক অ্যাসিড, কনড্রয়টিন সালফেট, হেপারিন প্রভৃতি মিউকোপলিস্যাকারাইডের এবং গ্লাইকোপ্রোটিনের অণুতে গ্লুকোজঅ্যামাইন,

গ্যালাক্টোজঅ্যামাইন প্রভৃতি অ্যামাইনো শর্করা (amino sugars) এবং সেগুলি হইতে অ্যাসেটাইল বা সালফেট বর্গযোগে উৎপন্ন বস্তু বর্তমান। এই সকল বস্তু যকৃত, অস্থি, তরুণাস্থি (cartilage), কণ্ডরা (tendon) প্রভৃতি কলায় গ্লুকোজ হইতে সংশ্লেষিত হয়।

গ্লুকোজ
এটিপি
হেক্সোকাইনেজ
গ্লুকোজ-6-ফসফেট
এডিপি
ফসফোহেক্সোজ আইসোমেরেজ
ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট
গ্লুটামিক অ্যাসিড
ট্রান্সঅ্যামাইডেজ
গ্লুটামিন
গ্লুকোজ অ্যামাইন-6-ফসফেট
গ্লুকোজ অ্যামাইন-1-ফসফেট
ফসফোগ্লুকোমিউটেজ
ট্রান্স-অ্যাসেটাইলেজ
অ্যাসেটাইল-কো-এ
$CH_3CO{\sim}S$Ⓐ
কোএনজাইম এ
ⒶSH
ইউটিপি
পাইরোফসফোরিলেজ
অজৈব পাইরোফসফেট
PPi
ইউডিপি-গ্লুকোজঅ্যামাইন
O—UDP
এন-অ্যাসেটাইল-গ্লুকোজঅ্যামাইন-6-ফসফেট
সিয়ালিক অ্যাসিড
মিউকোপলিস্যাকারাইড
মিউটেজ
এন-অ্যাসেটাইল-গ্লুকোজ-অ্যামাইন-1-ফসফেট
ইউডিপি-এন-অ্যাসেটাইল গ্লুকোজ অ্যামাইন
এপিমারেজ
ইউডিপি-এন-অ্যাসেটাইল-গ্যালাক্টোজঅ্যামাইন
ইউটিপি
পাইরোফসফোরিলেজ
অজৈব পাইরোফসফেট

চিত্র 17.18. অ্যামাইনো শর্করার উৎপাদন।

গ্লুকোজ হইতে গ্লাইকোলিসিসের পথে উৎপন্ন ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট অণুর দ্বিতীয় কার্বনে (C^2) গ্লুটামিনের অ্যামাইড বর্গটি গিয়া যুক্ত হইলে যথাক্রমে গ্লুকোজঅ্যামাইন-6-ফসফেট ও গ্লুটামিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়; এই বিক্রিয়া একটি বিশেষ ট্রান্সঅ্যামাইডেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ঘটিয়া থাকে (চিত্র 17.18)। পরে একটি ট্রান্সঅ্যাসেটাইলেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় গ্লুকোজ-

অ্যামাইন-6-ফসফেট অণুর অ্যামাইন বর্গে অ্যাসেটাইল কো-এ অণুর অ্যাসেটাইল বর্গটি গিয়া যুক্ত হইলে এন্-অ্যাসেটাইলগ্লুকোজঅ্যামাইন-6-ফসফেট উৎপন্ন হয় এবং উহা একটি মিউটেজ এনজাইমের প্রভাবে এন্-অ্যাসেটাইলগ্লুকোজ-অ্যামাইন-1-ফসফেটে (N-acetylglucosamine-1-phosphate) পরিবর্তিত হয়। একটি পাইরোফসফোরিলেজের সাহায্যে শেষোক্ত বস্তুর সহিত ইউটিপি-র বিক্রিয়া ঘটিয়া ইউডিপি-এন্-অ্যাসেটাইলগ্লুকোজঅ্যামাইনের উৎপত্তি ঘটে। শেষোক্ত বস্তুটি হইতে একদিকে এন্-অ্যাসেটাইলগ্লুকোজ-অ্যামাইন অংশ এনজাইমের প্রভাবে মিউকোপলিস্যাকারাইড অণুতে সন্নি-বেশিত হয় এবং অন্যদিকে এপিমারেজের প্রভাবে ইউডিপি-এন্-অ্যাসেটাইল-গ্যাল্যাক্টোজঅ্যামাইন উৎপন্ন হইয়া তাহারও এন্-অ্যাসেটাইলগ্যাল্যাক্টোজ-অ্যামাইন অংশটি মিউকোপলিস্যাকারাইড সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। তাহা ছাড়া এন্-অ্যাসেটাইলগ্লুকোজঅ্যামাইন-6-ফসফেট হইতে দেহে সিয়ালিক (sialic) অ্যাসিড উৎপন্ন হইয়া তাহাও মিউকোপলিস্যাকারাইড উৎপাদনে প্রযুক্ত হয়।

অন্যদিকে ফসফোগ্লুকোমিউটেজের ক্রিয়ায় গ্লুকোজঅ্যামাইন-6-ফসফেট হইতে গ্লুকোজঅ্যামাইন-1-ফসফেট উৎপন্ন হয়। পাইরোফসফোরিলেজের প্রভাবে শেষোক্ত বস্তুর সহিত ইউটিপি-র বিক্রিয়া ঘটিয়া ইউডিপি-গ্লুকোজ-অ্যামাইনের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 17.18)। শেষোক্ত বস্তুর গ্লুকোজঅ্যামাইন বর্গটি মিউকোপলিস্যাকারাইড সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।

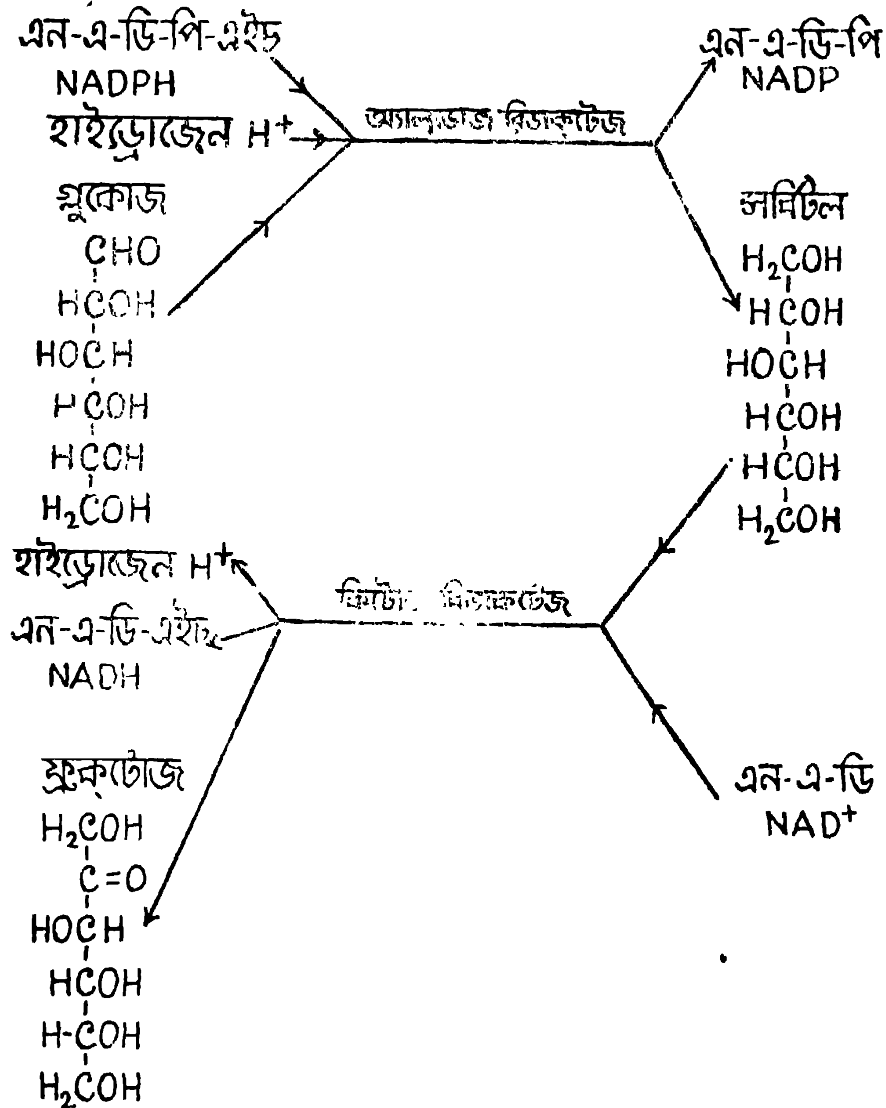
17.13 ল্যাক্টোজ সংশ্লেষণ

দুধের ল্যাক্টোজ স্তনে রক্তের গ্লুকোজ হইতে সংশ্লেষিত হয়। প্রথমে হেক্সোকাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি হইতে একটি ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া গ্লুকোজ গ্লুকোজ-6-ফসফেটে পরিণত হয় এবং তাহা ফসফোগ্লুকোমিউটেজের প্রভাবে গ্লুকোজ-1-ফসফেটে পরিবর্তিত হইয়া যায় (চিত্র 17.17)। ইউডিপি-গ্লুকোজ পাইরোফসফোরিলেজের (UDPG pyrophosphorylase) প্রভাবে ইউরিডিন ট্রাইফসফেট (UTP) ও গ্লুকোজ-1-ফসফেটের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া ইউডিপি-গ্লুকোজ (UDP-glucose) ও অজৈব পাইরোফসফেট (PPi) উৎপন্ন হয়। এন-এ-ডি (NAD^+) ও ইউডিপি-গ্যাল্যাক্টোজ-4-এপিমারেজের ক্রিয়ায় ইউডিপি-গ্লুকোজ ইউডিপি-গ্যাল্যাক্টোজে পরিবর্তিত হয়। ইতিমধ্যে দুধে ক্ষরণের জন্য সংশ্লেষিত ল্যাক্ট্-অ্যাল্বুমিন প্রোটিনটি স্তনকোষের গল্গি-ঝিল্লীতে (Golgi membrane) অ্যাসেটাইল-ল্যাক্টোজঅ্যামাইন সিন্-থেটেজের অণুতে যুক্ত হইলে উক্ত এনজাইমটি ল্যাক্টোজ সিন্থেটেজ রূপে

কাজ করিতে থাকে ; শেষোক্ত এনজাইমটি ইউডিপি-গ্যালাক্টোজ ও গ্লুকোজের অণুর মধ্যে বিক্রিয়া ঘটায়, ফলে ইউডিপি (uridine diphosphate or UDP) মুক্ত হইয়া যায় এবং ল্যাকটোজ উৎপন্ন হয়।

17.14 ফ্রুকটোজ সংশ্লেষণ

শুক্রে (semen) যে ফ্রুকটোজ থাকে, তাহা শুক্রস্থলীতে (seminal vesicle) গ্লুকোজ হইতে সংশ্লেষিত হয়। এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH or reduced



চিত্র 17.19. ফ্রুকটোজ সংশ্লেষণ।

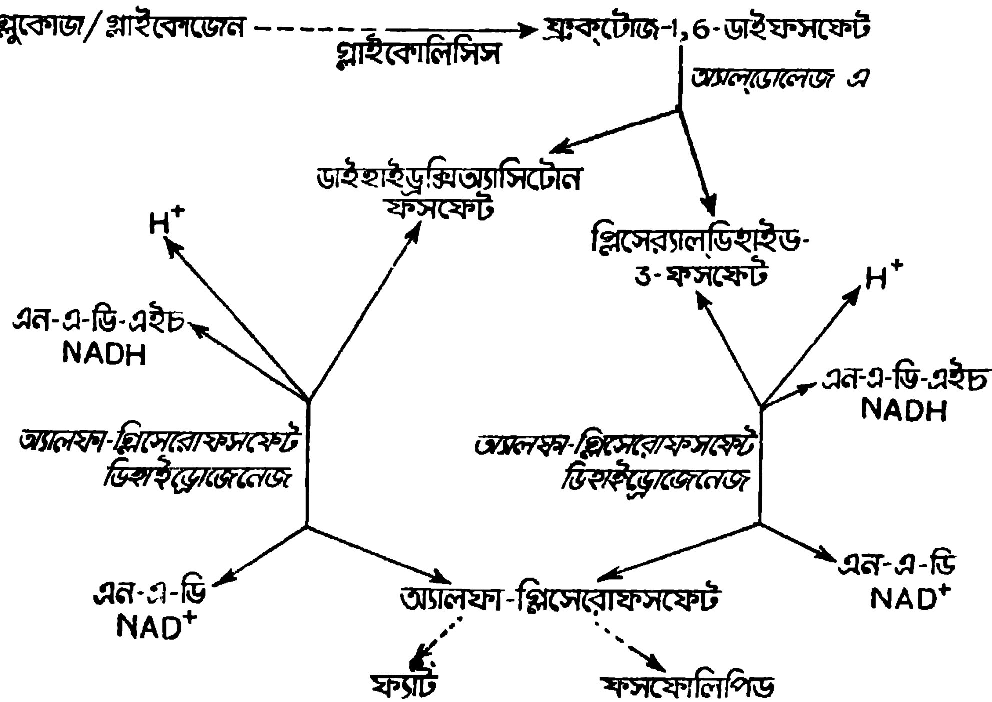
$NADP^+$) ও অ্যাল্‌ডোজ রিডাক্‌টেজের ক্রিয়ায় গ্লুকোজের অ্যাল্‌ডিহাইড বর্গটি বিজারিত (reduced) হইয়া অ্যালকোহলীয় হাইড্রক্সিল বর্গে পরিণত হইলে গ্লুকোজ সর্বিটল নামক অ্যালকোহলে পরিণত হয় (চিত্র 17.19)।

ইহার পরে এন-এ-ডি (NAD^+) ও কিটোজ রিডাকৃটেজের প্রভাবে সর্বিটল অংশতঃ জারিত (oxidized) হইলে তাহার দ্বিতীয় কার্বনের (C^2) হাইড্রক্সিল বর্গটি কিটোন বর্গে পরিণত হয়, ফলে ফ্রুক্টোজের উৎপত্তি ঘটে।

17.15 ফ্যাট উৎপাদন

যকৃত, মেদকলা (adipose tissue), স্তন প্রভৃতি কলায় কার্বোহাইড্রেট হইতে ফ্যাট উৎপন্ন হয়। স্বাভাবিক মানবদেহে খাদ্য হইতে শোষিত গ্লুকোজের $\frac{1}{3}$ হইতে $\frac{1}{4}$ অংশ মেদকলায় ফ্যাটে পরিণত হইয়া সঞ্চিত থাকে।

পেন্টোজ ফসফেট পথ ও গ্লাইকোলিসিসের ফলে কার্বোহাইড্রেট হইতে যে গ্লিসের‍্যালডিহাইড-3-ফসফেট ও ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট উৎপন্ন



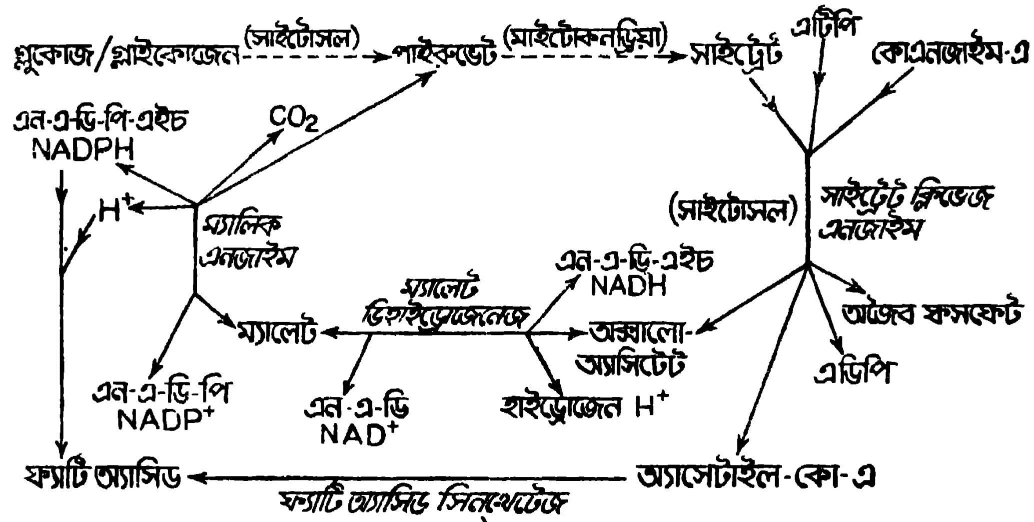
চিত্র 17.20. কার্বোহাইড্রেট হইতে অ্যাল্ফা-গ্লিসেরোফসফেট উৎপাদন।

হয়, সেগুলি এন-এ-ডি-এইচ এবং অ্যাল্ফা-গ্লিসেরোফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় বিজারিত হইয়া অ্যাল্ফা-গ্লিসেরোফসফেট দান করে। গ্লিসেরলের শেষোক্ত যৌগটিই ফ্যাট ও ফসফোলিপিড সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয় (চিত্র 17.20)। এভাবে দুধের ফ্যাট অণুর গ্লিসেরল অংশের শতকরা 15 ভাগেরও বেশি স্তনে গ্লুকোজ হইতে উৎপন্ন হয়।

মাইটোকন্ড্রিয়ায় সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে কার্বোহাইড্রেট হইতে উৎপন্ন সাইট্রিক অ্যাসিড মাইটোকন্ড্রিয়ার বাহিরে সাইটোসলে আসিয়া কোএনজাইম

এ, এটিপি ও সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ভাঙ্গিয়া পড়িয়া অক্সালো-অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও অ্যাসেটাইল-কো-এ দান করে ; শেষোক্ত বস্তুটি হইতে সাইটোসলে ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্‌থেটেজ নামক এনজাইম-সমষ্টির ক্রিয়ায় দীর্ঘাণু ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি সংশ্লেষিত হয় (চিত্র 17.21)।

স্তন, যকৃত, মেদকলা প্রভৃতি যে-সকল কলায় কার্বোহাইড্রেট হইতে ফ্যাট সংশ্লেষিত হয়, সেখানে পেণ্টোজ ফসফেট পথে যথেষ্ট পরিমাণে কার্বোহাইড্রেটের বিপাক ঘটিয়া এন-এ-ডি-পি ($NADP^+$) হইতে এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH) উৎপন্ন হয় ; তাহা ছাড়া স্তন, যকৃত প্রভৃতির



চিত্র 17.21. কার্বোহাইড্রেট হইতে ফ্যাটি অ্যাসিডের উৎপাদন।

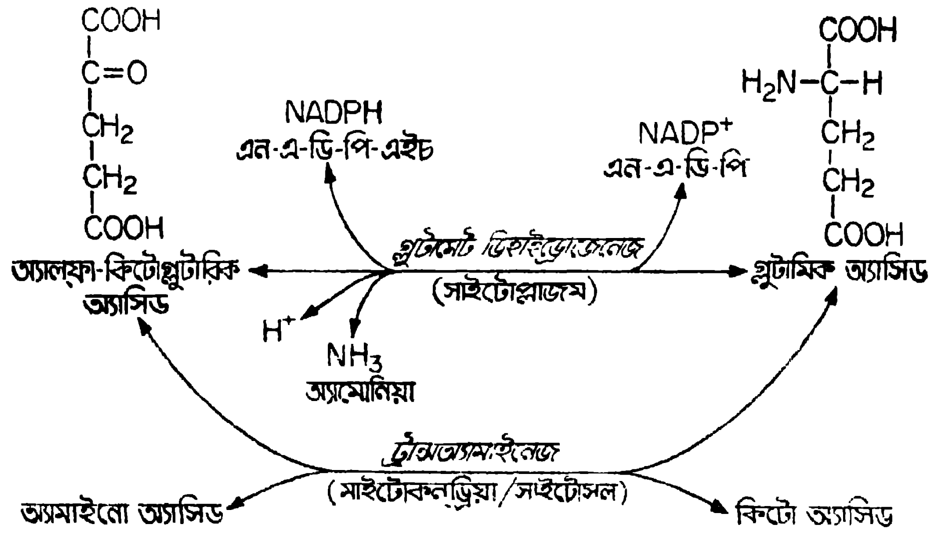
সাইটোসলে বর্তমান ম্যালিক এনজাইমের ক্রিয়ায় ম্যালিক অ্যাসিড হইতে পাইরুভিক অ্যাসিড ও কার্বন ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন হয় এবং এন-এ-ডি-পি বিজারিত হইয়া এন-এ-ডি-পি-এইচ দান করে ; ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষণের সময়ে বিজারণের কার্যে এই সকল এন-এ-ডি-পি-এইচ সাহায্য করে।

ইনসুলিন ও থাইরক্সিন সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইম, ম্যালিক এনজাইম এবং পেণ্টোজ ফসফেট পথের এন-এ-ডি-পি-এইচ-উৎপাদক ডিহাইড্রোজেনেজগুলির সংশ্লেষণ অথবা ক্রিয়া বাড়াইয়া কার্বোহাইড্রেট হইতে ফ্যাটের উৎপাদন বর্ধিত করে।

17.16 অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপাদন

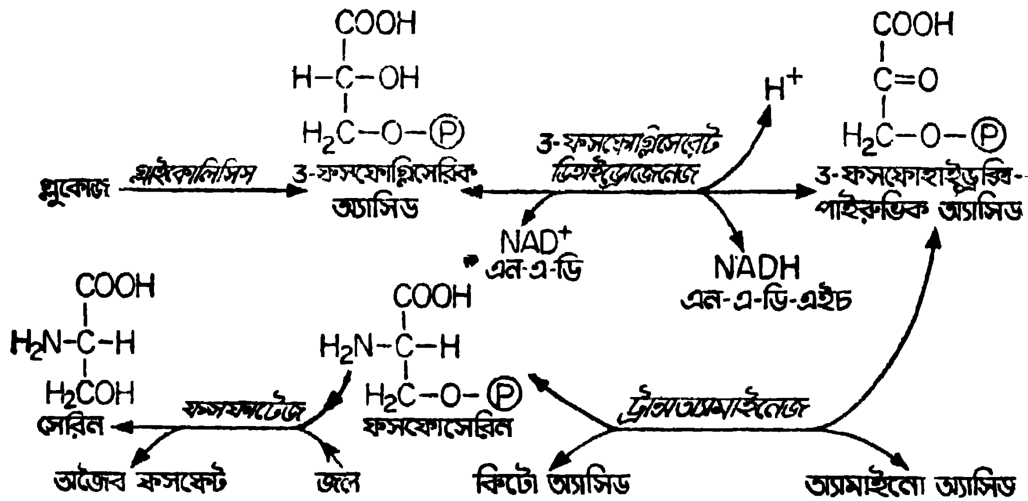
গ্লাইকোলিসিস এবং সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে কার্বোহাইড্রেট হইতে পাইরুভেট, অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট, অক্সালোঅ্যাসিটেট প্রভৃতি যে-সকল অ্যালফা-কিটো অ্যাসিড উৎপন্ন হয়, ট্রান্সঅ্যামাইনেজের ক্রিয়ায় তাহাদের

কিটোন বর্গের স্থানে অ্যামাইনো বর্গ যুক্ত হইলে বিভিন্ন অনপরিহার্য (non-essential) অ্যামাইনো অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে। এভাবে যকৃত ও অন্যান্য কলায় অ্যালানিন, গ্লুটামেট, অ্যাস্পার্টেট প্রভৃতি অ্যামাইনো অ্যাসিড



চিত্র 17.22. গ্লাইকোলিসিসের ফলে উৎপন্ন অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট হইতে গ্লুটামেট উৎপাদন।

সংশ্লেষিত হয় (চিত্র 17.22)। যকৃত-কোষের সাইটোসলে এন-এ-ডি-পি-এইচ ও গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া ও অ্যালফা-কিটো-গ্লুটারেট পরস্পর যুক্ত হইয়াও গ্লুটামেট উৎপন্ন করে (চিত্র 17.22)।

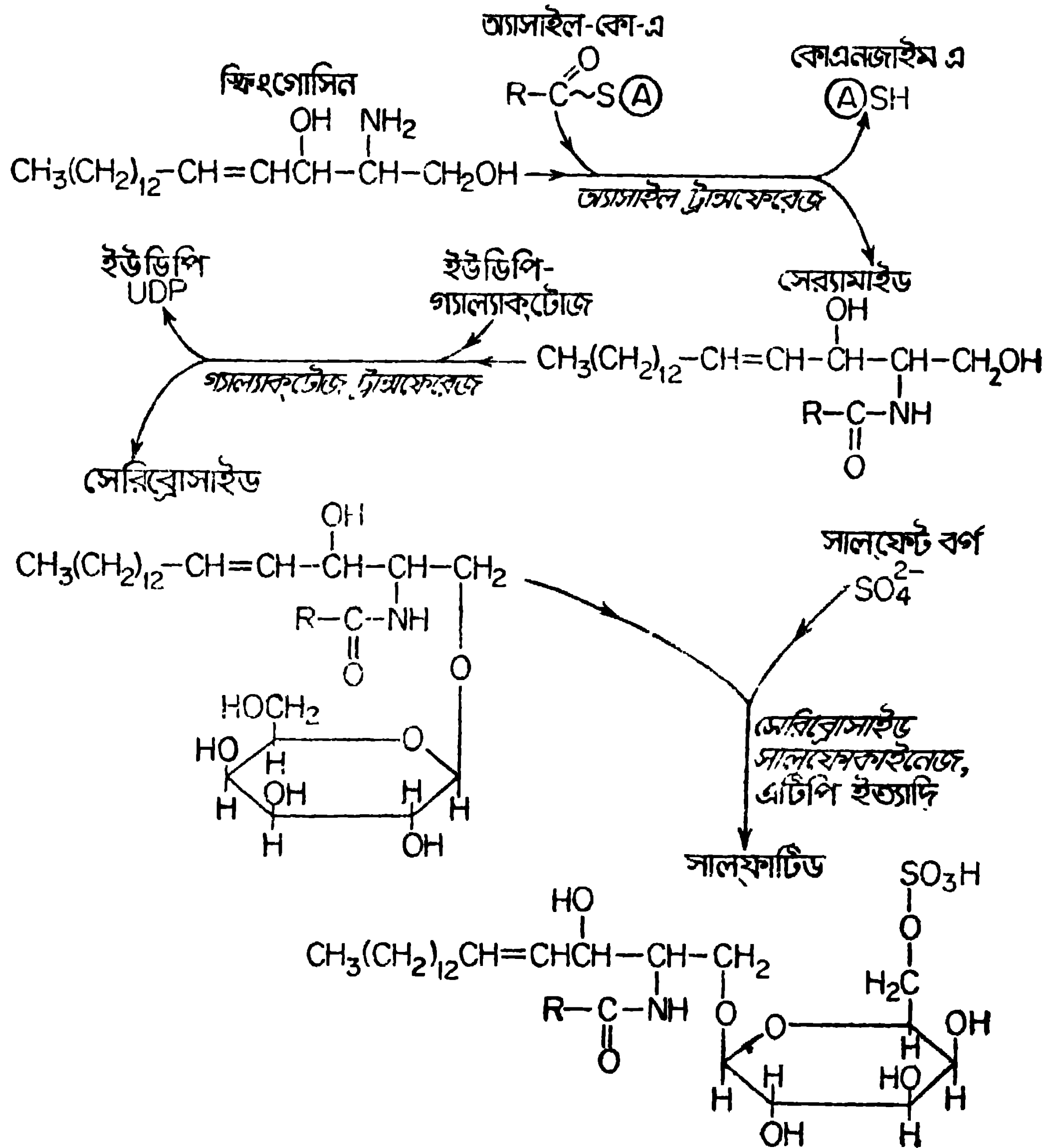


চিত্র 17.23. কার্বোহাইড্রেট হইতে সেরিন উৎপাদন।

গ্লাইকোলিসিসের সময়ে উৎপন্ন 3-ফসফোগ্লিসেরিক অ্যাসিড হইতে জারণ (oxidation) ও ট্রান্সঅ্যামিনেশনের মাধ্যমে সেরিন নামক অন্য একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 17.23)।

17.17 স্ফিংগোলিপিড সংশ্লেষণ

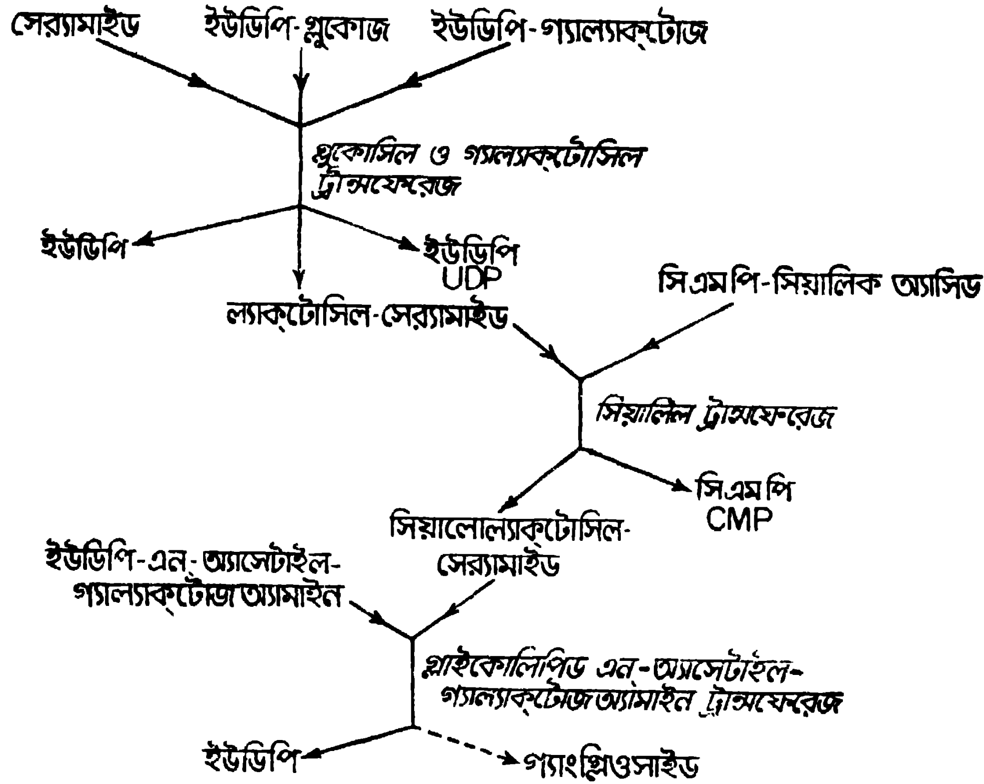
গ্লুকোজ বিপাকের ফলে উৎপন্ন ইউডিপি-গ্লুকোজ (UDP-glucose), ইউডিপি-গ্যালাকটোজ, ইউডিপি-এন্-অ্যাসেটাইল-গ্যালাক্টোজঅ্যামাইন (UDP-N-acetylgalactosamine) প্রভৃতি বস্তু হইতে সেরিব্রোসাইড, সাল্‌ফাটিড ও গ্যাংগ্লিওসাইড জাতীয় স্ফিংগোলিপিডগুলি সংশ্লেষিত



চিত্র 17.24. সেরিব্রোসাইড ও সাল্‌ফাটিড সংশ্লেষণে গ্যালাক্টোজের ভূমিকা।

হয়। মস্তিষ্ক ও নার্ভতন্ত্রে গ্যালাক্টোজ ট্রান্সফেরেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ইউডিপি-গ্যালাক্টোজের গ্যালাক্টোজ বর্গটি স্ফিংগোসিন (sphingosine) নামক নাইট্রোজেন-ঘটিত অ্যালকোহল হইতে উদ্ভূত সেরামাইড (ceramide) অণুতে গিয়া যুক্ত হইলে সেরিব্রোসাইড (cerebroside) উৎপন্ন হয় (চিত্র 17.24)।

মস্তিষ্কে সেরিব্রোসাইড সালফোকাইনেজের ক্রিয়ায় একটি সালফেট বর্গ সেরিব্রোসাইডের গ্যাল্যাক্টোজ অংশের অ্যালকোহল বর্গে যুক্ত হইলে সালফাটিডের উৎপত্তি ঘটে। আবার মস্তিষ্কে বিভিন্ন ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে ইউডিপি-গ্লুকোজ, ইউডিপি-গ্যাল্যাক্টোজ, ইউডিপি-এন্-অ্যাসেটাইলগ্যাল্যাক্টোজ-



চিত্র 17.25. গ্যাংগ্লিওসাইড সংশ্লেষণে বিভিন্ন শর্করার ভূমিকা।

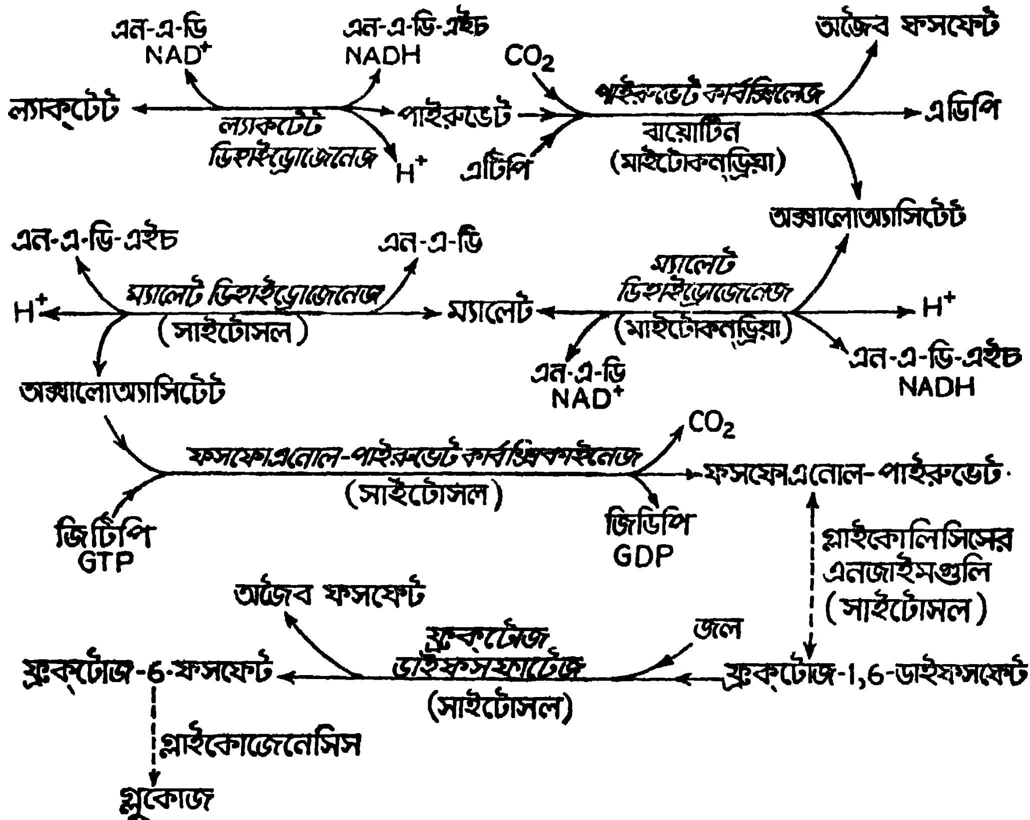
অ্যামাইন, সিএমপি-সিয়ালিক অ্যাসিড (CMP-sialic acid) প্রভৃতির অণু হইতে গ্লুকোজ, গ্যাল্যাক্টোজ, এন্-অ্যাসেটাইলগ্যাল্যাক্টোজঅ্যামাইন, সিয়ালিক অ্যাসিড প্রভৃতি শর্করাজাতীয় অংশগুলি সের্যামাইডে স্থানান্তরিত হইলে নানাপ্রকার গ্যাংগ্লিওসাইড উৎপন্ন হয় (চিত্র 17.25)।

17.18 গ্লুকোনিওজেনেসিস বা নবশর্করাসৃজন

এই প্রক্রিয়ার দ্বারা নানাপ্রকার কার্বোহাইড্রেট-ইতর (non-carbohydrate) বস্তু যথা, অ্যামাইনো অ্যাসিড, গ্লিসেরল, বৃহদন্ত্রে সেলুলোজের কিণ্বনজনিত প্রোপায়োনেট, কার্বোহাইড্রেটের বিপাকজাত ল্যাক্টেট ও পাইরুভেট প্রভৃতি হইতে যকৃত, বৃক্ক প্রভৃতি কলায় কার্বোহাইড্রেট সংশ্লেষিত হয়। উপবাসের ফলে দেহে কার্বোহাইড্রেটের অভাব ঘটিলে অথবা মধুমেহ (diabetes

mellitus) রোগে কার্বোহাইড্রেটের বিপাক ব্যাহত হইলে নবশর্করাসৃজন বা গ্লুকোনিওজেনেসিস বৃদ্ধি পায়।

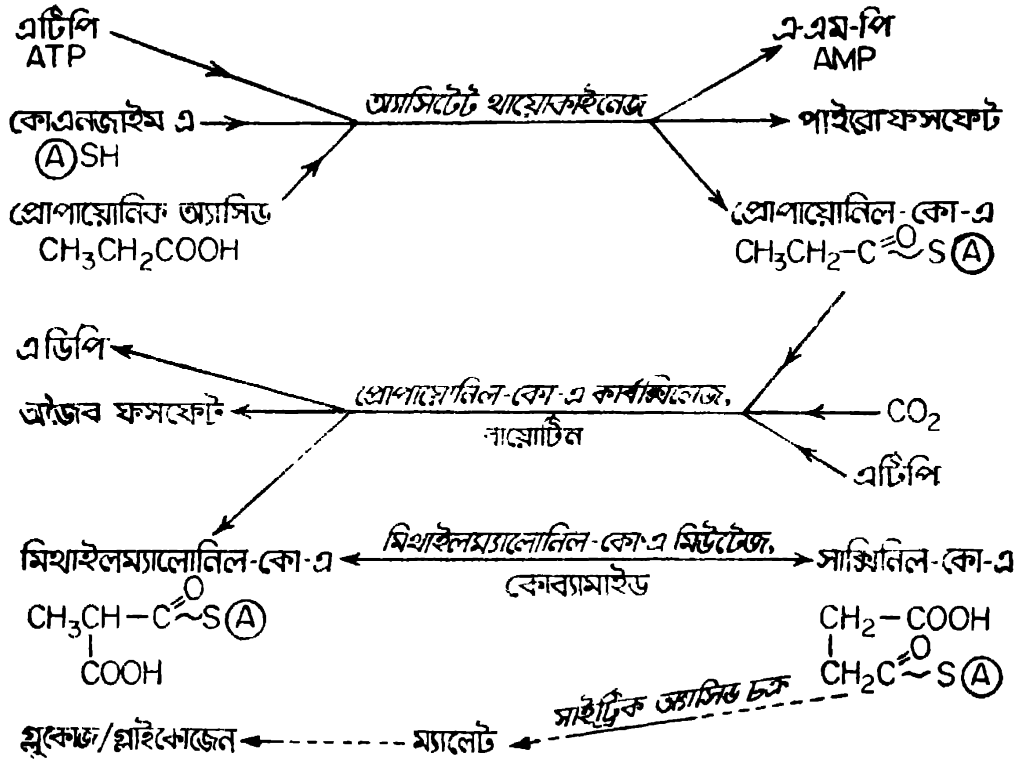
1. **ল্যাক্‌টেট হইতে** : গ্লাইকোলিসিসের ফলে উৎপন্ন ল্যাক্‌টিক অ্যাসিড প্রথমে এন-এ-ডি ও ল্যাক্‌টেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং উহা মাইটোকনড্রিয়ার ভিতরে আসিয়া পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, এটিপি ও বায়োটিনের সাহায্যে কার্বন ডাই-অক্সাইডের সহিত যুক্ত হইয়া অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত



চিত্র 17.26. ল্যাক্‌টেট হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিস্।

হয় (চিত্র 17.26)। অক্সালোঅ্যাসিটেট অচিরে এন-এ-ডি-এইচ (NADH) ও ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজের সাহায্যে ম্যালিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং তাহা মাইটোকনড্রিয়ার বাহিরে আসিয়া এন-এ-ডি ও ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় আবার অক্সালোঅ্যাসিটেটে পরিবর্তিত হয়। অতঃপর অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড ফসফোএনোল-পাইরুভেট কার্বক্সিকাই-নেজের সাহায্যে কার্বন ডাই-অক্সাইড হারাইয়া এবং গুয়ানোসিন ট্রাইফসফেট (GTP) হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া ফসফোএনোলপাইরুভিক অ্যাসিডে

রূপান্তরিত হয়। ফসফোএনোল-পাইরুভেট সাইটোসলেই গ্লাইকোলিসিসের বিক্রিয়াগুলির বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার মাধ্যমে গ্লাইকোলিসিসের ঐসকল পদের এনজাইমগুলির সাহায্যেই ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেটে পরিবর্তিত হয়। অতঃপর ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেট ফ্রুক্টোজ ডাইফসফাটেজ (FDPase) এনজাইমের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট (hydrolysed) হইলে অজৈব ফসফেট মুক্ত হইয়া যায় এবং ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট উৎপন্ন হয়। শেষোক্ত বস্তুটি গ্লাইকোজেনেসিস প্রসঙ্গে বর্ণিত বিক্রিয়াগুলির মাধ্যমে গ্লুকোজ বা গ্লাইকোজেনে পরিণত হয় (17.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

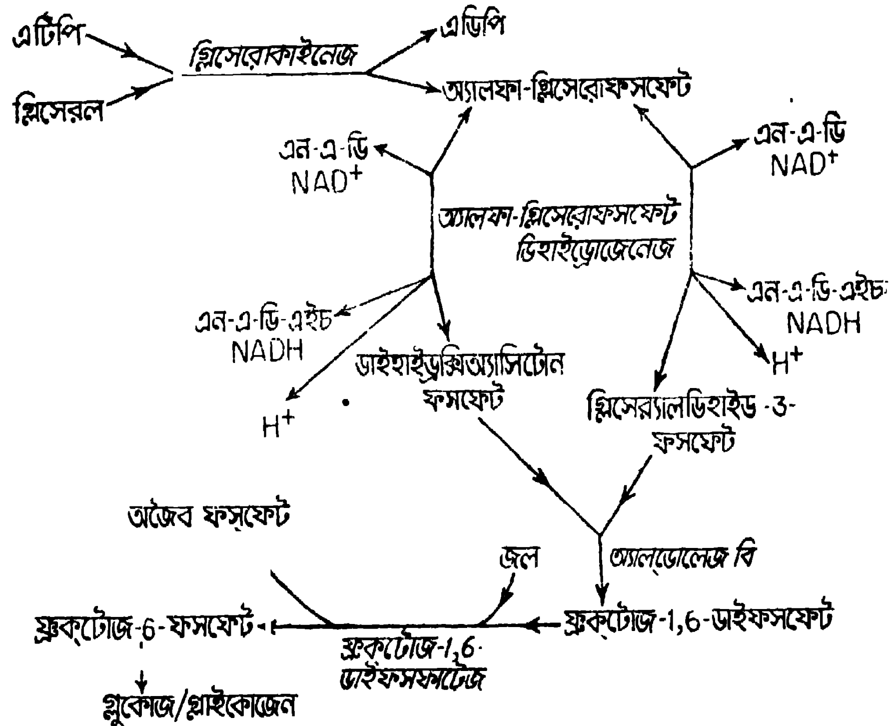


চিত্র 17.27. প্রোপায়োনেট হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিস্।

2. প্রোপায়োনেট হইতে : সেলুলোজের ব্যাকটেরিয়া-ঘটিত কিণ্বনের ফলে উৎপন্ন প্রোপায়োনিক অ্যাসিড পৌষ্টিক নালী হইতে শোষিত হইয়া যকৃতে আসিয়া যকৃত-কোষের মাইটোকন্ড্রিয়ায় প্রবেশ করে এবং সেখানে এটিপি (ATP), কোএনজাইম এ, অ্যাসিটেট থায়োকাইনেজ প্রভৃতির সাহায্যে প্রোপায়োনিল-কো-এ (প্রোপায়োনেট-কোএনজাইম এ যৌগ) উৎপন্ন করে। শেষোক্ত বস্তুটি বায়োটিন ও প্রোপায়োনিল-কো-এ কার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় এবং এটিপি-র সাহায্যে কার্বন ডাই-অক্সাইডের সহিত যুক্ত হইয়া মিথাইল-ম্যালোনিল-কো-এ দান করে (চিত্র 17.27)। মিথাইল-ম্যালোনিল-কো-এ

অণুটি কোব্যামাইড কোএনজাইম এবং মিথাইল-ম্যালোনিল-কো-এ মিউটেজের ক্রিয়ায় সাক্সিনিল-কো-এ অণুতে রূপান্তরিত হয়। শেষোক্ত বস্তুটি সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে ম্যালিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং তাহা মাইটোকন্ড্রিয়ার বাহিরে আসিয়া সাইটোসলের ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজ, ফসফোএনোল-পাইরুভেট কার্বক্সিকাইনেজ প্রভৃতি এনজাইমের সাহায্যে গ্লুকোজ বা গ্লাইকোজেন সংশ্লেষণ করে—এই বিক্রিয়াগুলি পূর্ববর্তী ছকেই বর্ণিত হইয়াছে (চিত্র 17.26)।

3. গ্লিসেরল হইতে : উপবাস, মধুমেহ প্রভৃতি অবস্থায় মেদকলায় চর্বি ভাঙ্গিয়া মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড ও গ্লিসেরল উৎপন্ন হয়। গ্লিসেরল

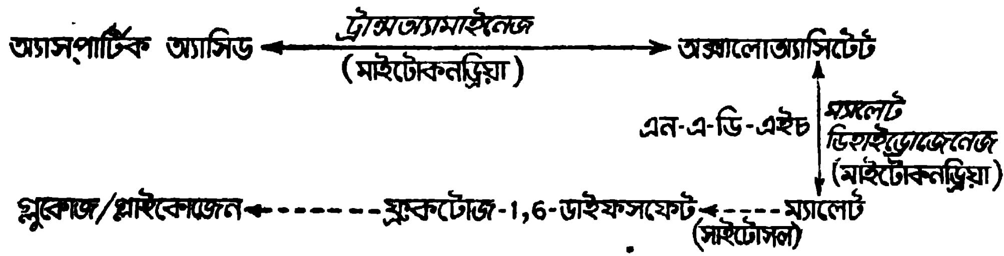


চিত্র 17.28. গ্লিসেরল হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিস্।

যকৃতে আসিয়া গ্লিসেরোকাইনেজের প্রভাবে এটিপি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেটে পরিণত হয় এবং তাহা এন-এ-ডি (NAD^+) ও অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের সাহায্যে জারিত (oxidized) হইয়া ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেটে অথবা গ্লিসের‍্যালডি-হাইড-3-ফসফেটে পরিবর্তিত হয় (চিত্র 17.28)। শেষোক্ত দুই বস্তুর একটি করিয়া অণু অ্যালডোলেজ বি নামক এনজাইমের ক্রিয়ায় পরস্পর মিলিয়া ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফসফেট উৎপন্ন করে এবং তাহা হইতে ফ্রুক্টোজ

ডাইফসফাটেজের (FDPase) ক্রিয়ায় অজৈব ফসফেট ও ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেটের উদ্ভব ঘটে। অতঃপর গ্লাইকোজেনেসিসের বিক্রিয়াগুলির মাধ্যমে ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট হইতে গ্লুকোজ বা গ্লাইকোজেন উৎপন্ন হয় (17.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

4. **শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে :** অ্যালানিন, গ্লুটামিক অ্যাসিড, অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড, আর্জিনিন, গ্লাইসিন, মেথিওনিন, সেরিন, হিস্টিডিন প্রভৃতি অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে যকৃত ও বৃক্কে গ্লুকোজ ও গ্লাইকোজেন সংশ্লেষিত হয় ; সেজন্য উহাদের শর্করাপ্রদ (glucogenic) বলা হয়। অবশ্য উপবাসের সময়ে ঐচ্ছিক পেশীর প্রোটিন ভাঙ্গিয়া যে-সকল অ্যামাইনো অ্যাসিড রক্তে আসে, তাহাদের মধ্যে অ্যালানিন ও গ্লুটামেট হইতেই সর্বাধিক পরিমাণে গ্লুকোজ সংশ্লেষিত হয়। রক্ত হইতে দ্রুত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিকে সংগ্রহ করিয়া যকৃত-কোষগুলি প্রধানতঃ



চিত্র 17.29. অ্যাস্পার্টেট হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিস্।

অ্যামাইনোহরণ (ডিঅ্যামিনেশন, deamination) ও অ্যামাইনো-স্থানান্তরণ (ট্রান্সঅ্যামিনেশন, transamination) পদ্ধতিতে উহাদের অ্যামাইনো বর্গ অপসারণ করে ; ফলে পাইরুভেট, অক্সালোঅ্যাসিটেট, অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট প্রভৃতি যে অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডগুলি উৎপন্ন হয়, সেগুলি হইতে উপরে বর্ণিত বিক্রিয়াগুলির মাধ্যমে গ্লুকোজ বা গ্লাইকোজেন সংশ্লেষিত হয়। যথা, মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতরে অ্যাসপার্টিক অ্যাসিড ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা অক্সালোঅ্যাসিটেটে পরিণত হয় এবং তাহা ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজের সাহায্যে ম্যালিক অ্যাসিডে পরিবর্তিত হয় (চিত্র 17.29)। শেষোক্ত বস্তুটি মাইটোকন্ড্রিয়া হইতে সাইটোসলে আসিয়া ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজের প্রভাবে আবার অক্সালোঅ্যাসিটেটে রূপান্তরিত হয় এবং তাহা হইতে সাইটোসলের ফসফোএনোল-পাইরুভেট কার্বক্সিকাইনেজ, ফ্রুকটোজ-1,6-ডাই ফসফাটেজ প্রভৃতি এনজাইমের সাহায্যে ক্রমে গ্লুকোজ বা গ্লাইকোজেন উৎপন্ন হয়। (এই পদগুলি উপরে বিশদভাবে আলোচিত হইয়াছে।)

আবার মেথিওনিন হইতে উৎপন্ন সাক্সিনিক অ্যাসিড ও টাইরোসিন হইতে উৎপন্ন ফিউমারিক অ্যাসিড মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতরে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে ম্যালিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং তাহা মাইটোকন্ড্রিয়া হইতে সাইটোসলে আসিয়া ক্রমে গ্লুকোজ বা গ্লাইকোজেন সংশ্লেষণ করে।

ইনসুলিন হর্মোনটির ক্রিয়ায় ফ্রুক্টোজ ডাইফসফাটেজ, পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ ও ফসফো-এনোল-পাইরুভেট কার্বক্সিকাইনেজের সংশ্লেষণ ও ক্রিয়া হ্রাস পায়। এজন্য ইনসুলিনের ক্রিয়ায় গ্লুকোনিওজেনেসিস্ কমিয়া যায়, কিন্তু মধুমেহ রোগে ইনসুলিনের অভাব থাকায় ঐ এনজাইমগুলির ক্রিয়া বাড়িয়া গ্লুকোনিওজেনেসিস্ বহুগুণে বর্ধিত হয়। উপবাস ও রক্ত-শর্করার মাত্রাল্পতার ফলে অ্যাড্রেন্যালিন, কর্টিসল প্রভৃতি হর্মোনের ক্ষরণ বৃদ্ধি পায় এবং তাহাদের প্রভাবে উপরি-উক্ত এনজাইমগুলির সংশ্লেষণ ও ক্রিয়া বর্ধিত হয়, ফলে সে-সময়ে বিশেষতঃ অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিস বহুগুণে বৃদ্ধি পায়।

17.19 রক্তশর্করা ও কার্বোহাইড্রেট বিপাকের নিয়ন্ত্রণে যকৃতের ভূমিকা

নিম্নলিখিত পদ্ধতিগুলির দ্বারা যকৃত রক্তশর্করার (blood sugar) মাত্রা অব্যাহত রাখে, অতিরিক্ত কার্বোহাইড্রেটকে সঞ্চয় করে এবং অন্যান্য কলায় উপযুক্ত পরিমাণে শর্করার সরবরাহকে সুনিশ্চিত করে।

1. **গ্লাইকোজেনেসিস ও কার্বোহাইড্রেট সঞ্চয় :** অন্ত্র হইতে শোষিত শর্করাগুলি পোর্টাল শিরার রক্তে বাহিত হইয়া যকৃতে পৌঁছিলে যকৃত-কোষগুলি (hepatic cells) ঐ সকল শর্করাকে গ্লাইকোজেনেসিসের দ্বারা গ্লাইকোজেনে পরিণত করিয়া ভবিষ্যতের জন্য সঞ্চয় করিয়া রাখে। স্বাভাবিক মানুষের যকৃতে প্রায় 100-120 গ্রাম গ্লাইকোজেন সঞ্চিত থাকে, ইহা যকৃতের মোট ওজনের প্রায় 5-6%। যকৃতে গ্লাইকোজেনেসিসের প্রথম এনজাইম গ্লুকোকাইনেজের সক্রিয় থাকিবার জন্য রক্তে গ্লুকোজের গাঢ়তা অপেক্ষাকৃত অধিক থাকার প্রয়োজন হয়। এজন্যই যখন রক্তশর্করার পরিমাণ অপেক্ষাকৃত বেশি, শুধু তখনই গ্লুকোকাইনেজ সক্রিয় থাকিয়া যকৃতে গ্লাইকোজেনেসিসের মাধ্যমে অতিরিক্ত শর্করাকে গ্লাইকোজেনে পরিণত করে; রক্তে শর্করার মাত্রাল্পতা ঘটিলে গ্লুকোকাইনেজের ক্রিয়া বন্ধ হইয়া গ্লাইকোজেনেসিস স্থগিত থাকে এবং যকৃত সাময়িকভাবে রক্ত হইতে শর্করা অপসারণ বন্ধ রাখে। রক্তশর্করার মাত্রাধিক্য ঘটিলে যকৃতে গ্লাইকোজেন

সিন্থেটেজের ক্রিয়া বাড়িয়াও গ্লাইকোজেনেসিস বৃদ্ধি পায়। অন্যদিকে যকৃতে সঞ্চিত গ্লাইকোজেনের মাত্রা অনেক বাড়িলেও গ্লাইকোজেন সিন্থেটেজের ক্রিয়া অক্ষুণ্ণ থাকিয়া গ্লাইকোজেনেসিসের মাধ্যমে অতিরিক্ত শর্করার সঞ্চয় অব্যাহত থাকে।

2 **গ্লাইকোজেনোলাইসিস :** রক্তে শর্করার পরিমাণ কমিয়া গেলে যকৃতে সঞ্চিত গ্লাইকোজেন হইতে গ্লাইকোজেনোলাইসিসের মাধ্যমে গ্লুকোজ উৎপন্ন হইয়া রক্তে আসে। খাদ্যে কার্বোহাইড্রেটের অভাব ঘটিলে যকৃতে গ্লাইকোজেনোলাইসিস পথের অন্তিম এনজাইম গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজের ক্রিয়া বাড়িয়া যায় ; তাহা ছাড়া কার্বোহাইড্রেটের অভাবে রক্তশর্করার মাত্রাল্পতা ঘটিয়া দেহে অ্যাড্রেন্যালিন ক্ষরিত হয় এবং তাহার প্রভাবে গ্লাইকোজেনো-লাইসিসের প্রথম এনজাইম ফসফোরিলেজও যকৃতে সক্রিয় হইয়া ওঠে। এসকল কারণে তখন গ্লাইকোজেনোলাইসিস বাড়িয়া রক্তে অধিক শর্করা আসিতে থাকে। অন্ত্র হইতে শোষিত গ্লুকোজ ব্যতীত যকৃতের গ্লাইকোজেনই রক্তশর্করার প্রধান উৎস।

3. **গ্লুকোনিওজেনেসিস :** শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড, গ্লিসেরল, প্রোপায়োনিক অ্যাসিড, পাইরুভিক অ্যাসিড, ল্যাক্টিক অ্যাসিড প্রভৃতি বস্তু হইতে যকৃতকোষে গ্লুকোনিওজেনেসিসের দ্বারা গ্লুকোজ ও গ্লাইকোজেন সংশ্লেষিত হয়। পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, ফসফো-এনোল-পাইরুভেট কার্বক্সি-কাইনেজ ও ফ্রুক্টোজ ডাইফসফাটেজ, গ্লুকোনিওজেনেসিসের এই বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ এনজাইমগুলি যকৃতে অপেক্ষাকৃত অধিক পরিমাণে বর্তমান, এজন্য এখানে যথেষ্ট গ্লুকোনিওজেনেসিস ঘটিতে পারে। উপবাসের সময়ে রক্ত-শর্করার মাত্রাল্পতার ফলে অ্যাড্রেন্যালিন, কর্টিসল প্রভৃতি হর্মোনের ক্ষরণ বাড়ে এবং তাহাদের প্রভাবে উপরি-উক্ত এনজাইমগুলির সংশ্লেষণ ও ক্রিয়া বর্ধিত হইয়া যকৃতে গ্লুকোনিওজেনেসিস্ বহুগুণে বৃদ্ধি পায়। অন্যদিকে ইনসুলিন ঐ এনজাইমগুলির সংশ্লেষণ কমাইয়া গ্লুকোনিওজেনেসিস হ্রাস করে ; মধুমেহ (diabetes mellitus) রোগে ইনসুলিনের অভাব থাকায় ঐ তিনটি এনজাইমের ক্রিয়া বাড়িয়া গ্লুকোনিওজেনেসিস অস্বাভাবিক বর্ধিত হয়।

4. **পেন্টোজ সংশ্লেষণ :** যকৃতে পেন্টোজ ফসফেট পথে গ্লুকোজ হইতে রাইবোজ ও অন্যান্য পেন্টোজ শর্করা সংশ্লেষিত হয়।

5. **মিউকোপলিস্যাকারাইড সংশ্লেষণ :** যকৃতে গ্লুকোজ হইতে বিভিন্ন

হেক্সিউরোনিক অ্যাসিড ও অ্যামাইনো শর্করা উৎপন্ন হয় এবং তাহাদের সাহায্যে হেপারিন, হায়ালিউরোনিক অ্যাসিড প্রভৃতি মিউকোপলিস্যাকারাইড সংশ্লেষণ করা হয়।

6. **রক্তশর্করার মাত্রা নিয়ন্ত্রণ :** একদিকে গ্লাইকোজেনেসিসের মাধ্যমে রক্ত হইতে শর্করা অপসারণ এবং অপরদিকে গ্লাইকোজেনোলাইসিস ও গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে গ্লুকোজ উৎপাদন করিয়া রক্তে প্রদান, এই দুই ধারার মধ্যে ভারসাম্য রাখিয়া এবং প্রয়োজনমত তাহাদের হ্রাসবৃদ্ধি ঘটাইয়া যকৃত রক্তে গ্লুকোজের মাত্রা অব্যাহত রাখে। আহারের পরে অথবা অন্য কোনও কারণে রক্তে গ্লুকোজের মাত্রাধিক্য ঘটিলে ইনসুলিনের ক্ষরণ বৃদ্ধি পায় : তাহার প্রভাবে একদিকে যকৃতে পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, ফ্রুক্টোজ ডাইফসফাটেজ প্রভৃতির সংশ্লেষণ কমিয়া গ্লুকোনিওজেনেসিস হ্রাস পায়, গ্লাইকোজেন ফসফোরিলেজ ও গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজের ক্রিয়া কমিয়া গিয়া গ্লাইকোজেনোলাইসিসও কমিয়া যায়, আবার অন্যদিকে গ্লুকোকাইনেজ ও গ্লাইকোজেন সিন্থেটেজের ক্রিয়া বর্ধিত হইয়া গ্লাইকোজেনেসিস বাড়ে। ইহার ফলে রক্তে গ্লুকোজের সংযোজন কমিয়া এবং রক্ত হইতে গ্লুকোজের অপসারণ বাড়িয়া রক্তশর্করার মাত্রা স্বাভাবিকে নামিয়া আসে। পক্ষান্তরে উপবাসকালে রক্তে শর্করার মাত্রা কমিলে অ্যাড্রেন্যালিন ও কর্টিসল ক্ষরিত হয়। তাহাদের প্রভাবে একদিকে পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, ফ্রুক্টোজ ডাইফসফাটেজ প্রভৃতির সংশ্লেষণ বাড়িয়া গ্লুকোনিওজেনেসিস বাড়ে, অন্যদিকে গ্লাইকোজেন ফসফোরিলেজের ক্রিয়া বর্ধিত হইয়া গ্লাইকোজেনোলাইসিস বৃদ্ধি পায় ; আবার রক্তশর্করার মাত্রাল্পতার জন্য গ্লুকোকাইনেজের ক্রিয়া ব্যাহত হইয়া গ্লাইকোজেনেসিস্ কমিয়া যায়। এসকল কারণে ঐ অবস্থায় রক্তে গ্লুকোজের মাত্রা বাড়িয়া স্বাভাবিকের দিকে আসে।

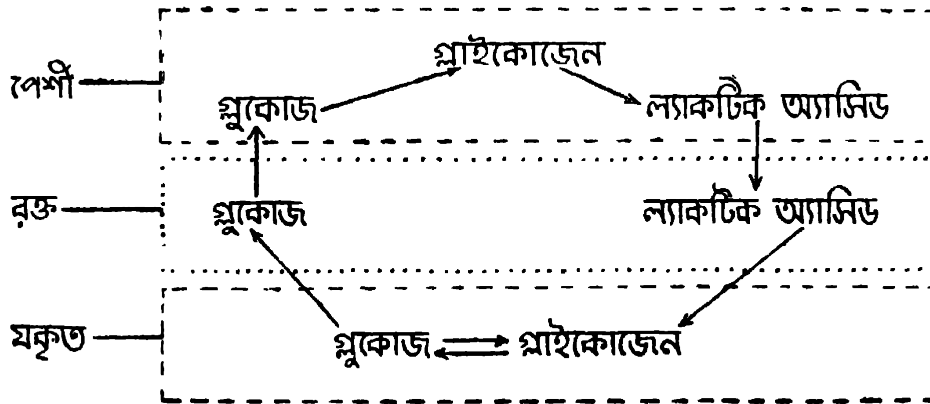
17.20 রক্তশর্করা ও কার্বোহাইড্রেট বিপাকের নিয়ন্ত্রণে পেশীর ভূমিকা

পেশী প্রচুর পরিমাণে কার্বোহাইড্রেটকে শক্তি উৎপাদনে ব্যবহার করে।

1. **গ্লাইকোজেনেসিস ও কার্বোহাইড্রেট সঞ্চয় :** পেশীকোষগুলি রক্ত হইতে গ্লুকোজ তুলিয়া লইয়া গ্লাইকোজেনেসিসের মাধ্যমে গ্লাইকোজেনে পরিণত করিয়া সঞ্চয় করে ; ফলে পেশী রক্তশর্করার অপসারণে অংশগ্রহণ করে। বস্তুতঃ রক্তশর্করার মাত্রা স্বাভাবিকের তুলনায় অনেক কমিয়া গেলেও

পেশীর হেক্সোকাইনেজের ক্রিয়া অক্ষুণ্ণ থাকিয়া পেশী কর্তৃক রক্তশর্করার অপসারণ অব্যাহত থাকে, কিন্তু পেশীতে পূর্ণ মাত্রায় গ্লাইকোজেন সঞ্চিত থাকিলে গ্লাইকোজেন সিন্‌থেটেজের ক্রিয়া সাময়িকভাবে কমিয়া গিয়া পেশী কর্তৃক রক্তশর্করার অপসারণ ও গ্লাইকোজেনেসিস বন্ধ থাকে। গ্লাইকোজেনের সঞ্চয়কেন্দ্র হিসাবে পেশীর স্থান যকৃতের পরেই—পেশীর শতকরা 0.5-1.8 ভাগ গ্লাইকোজেন। অবশ্য দেহে পেশীর মোট পরিমাণ যকৃতের তুলনায় অনেক বেশি হওয়ায় পেশীতে মোট প্রায় 250-260 গ্রাম গ্লাইকোজেন স্বাভাবিক অবস্থায় সঞ্চিত থাকে।

2. **গ্লাইকোলিসিস :** পেশী দেহের মুখ্য গ্লাইকোলিসিস-নির্ভর (glycolytic) কলাগুলির অন্যতম। পেশীতে প্রধানতঃ গ্লাইকোলিসিসের মাধ্যমে গ্লাইকোজেনকে ল্যাক্‌টিক অ্যাসিডে পরিবর্তিত করিয়া শক্তি



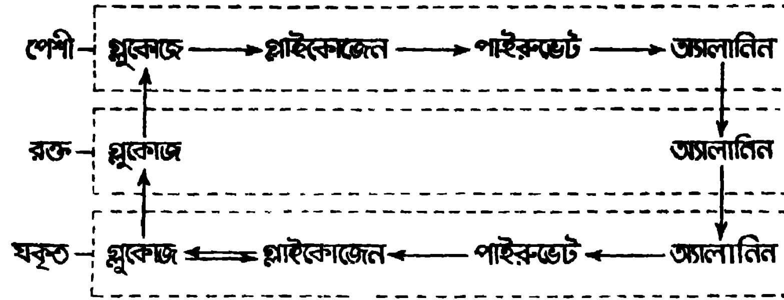
চিত্র 17.30. কোরি-বর্ণিত চক্র।

উৎপাদন করা হয়। সেই তুলনায় পেশীতে ল্যাক্‌টেট বা পাইরুভেটের বায়ব (aerobic) বিপাক অনেক কম হয়। পেশীতে উৎপন্ন ল্যাক্‌টিক অ্যাসিডের অধিকাংশ রক্তে বাহির হইয়া আসিয়া কঠিন শ্রমের সময়ে রক্তে ল্যাক্‌টেটের মাত্রা বাড়াইয়া দেয়; রক্ত হইতে ঐ ল্যাক্‌টেট অপসারণ করিয়া যকৃত-কোষগুলি তাহা হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের দ্বারা পুনর্বার গ্লুকোজ সংশ্লেষণ করিয়া রক্তে ছাড়িয়া দেয় এবং ঐ শর্করা পেশীতে সরবরাহ হয়; কার্বোহাইড্রেটের এই পরিবর্তন-চক্রকে **কোরি-বর্ণিত চক্র** (Cori cycle) বলে (চিত্র 17.30)। আবার পেশীতে গ্লাইকোলিসিসের ফলে উৎপন্ন পাইরুভিক অ্যাসিডের কিয়দংশ ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা অ্যালানিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডে পরিবর্তিত হইতে পারে এবং তাহা রক্তে বাহিত হইয়া যকৃতে আসিয়া গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে গ্লুকোজে রূপান্তরিত হইয়া আবার

পেশীতে সরবরাহ হইতে পারে ; ইহাকে **গ্লুকোজ-অ্যালানিন চক্র** বলা হয় (চিত্র 17.31)।

3. গ্লাইকোজেনোলাইসিস : পেশীতে গ্লুকোজ 6-ফসফাটেজ এনজাইমটি না থাকায় পেশী গ্লাইকোজেনোলাইসিসের দ্বারা গ্লাইকোজেন ভাঙ্গিয়া গ্লুকোজ উৎপাদন করিতে বা রক্তে গ্লুকোজ দান করিতে পারে না।

4. গ্লুকোনিওজেনেসিস : পেশী গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমেও গ্লুকোজ বা গ্লাইকোজেন উৎপাদন করিতে পারে না, কারণ এখানে



চিত্র 17.31. গ্লুকোজ-অ্যালানিন চক্র।

পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, ফ্রুক্টোজ ডাইফসফাটেজ প্রভৃতি মুখ্য গ্লুকোনিও-জেনেসিস-সহায়ক এনজাইমগুলির অভাব আছে। তাহা ছাড়া গ্লাইকো-লিসিসের যে-সকল এনজাইম বিপরীতমুখী বিক্রিয়াগুলিতেও সাহায্য করিয়া গ্লুকোনিওজেনেসিস ঘটাইতে পারে, পেশীতে তাহারা প্রধানতঃ গ্লাইকোলিসিসের সহায়ক রূপেই কাজ করে, গ্লুকোনিওজেনেসিসে অংশগ্রহণ করে না।

17.21 রক্তশর্করা ও কার্বোহাইড্রেট বিপাকের নিয়ন্ত্রণে বৃক্কের ভূমিকা

কোনও কোনও দিক দিয়া যকৃতের ভূমিকার সহিত বৃক্কের ভূমিকার সাদৃশ্য আছে।

1. গ্লাইকোজেনেসিস : বৃক্কে যকৃত বা পেশীর তুলনায় সামান্যই গ্লাইকোজেনেসিস হইয়া থাকে, ফলে এখানে খুব বেশি গ্লাইকোজেন সঞ্চিত থাকে না।

2. গ্লাইকোজেনোলাইসিস : বৃক্কে গ্লাইকোজেনোলাইসিস পদ্ধতিতে অল্পস্বল্প গ্লাইকোজেন ভাঙ্গিয়া গ্লুকোজের উৎপত্তি ঘটে।

3. **গ্লুকোনিওজেনেসিস :** বৃক্কে গ্লুকোনিওজেনেসিসের মুখ্য এনজাইম-গুলির প্রাচুর্য থাকায় শর্করাপ্রদ (glycogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিড, ল্যাকটেট প্রভৃতি হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে যথেষ্ট গ্লুকোজ উৎপন্ন হইয়া রক্তে আসিতে পারে।

4 **গ্লাইকোলিসিস :** গ্লাইকোজেনের সঞ্চয় খুব কম থাকায় বৃক্ক প্রধানতঃ সরাসরি গ্লুকোজের গ্লাইকোলিসিস ঘটাইয়া শক্তি উৎপাদন করে।

5. **মূত্রে শর্করার পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ :** বৃক্কে মূত্রক্ষরণের সূচনায় গ্লোমেরিউলাস (glomerulus) হইতে রক্তরসের (plasma) গ্লুকোজ পরিস্রুত (filtered) হইয়া টিবিউলের বিবরে আসে ; কিন্তু যতক্ষণ রক্তশর্করার মাত্রা বৃক্কের গ্লুকোজশোষণসীমার (renal threshold for glucose) নিচে থাকে, ততক্ষণ পরিস্রুত গ্লুকোজের সবটুকুই বৃক্কের প্রক্সিম্যাল (proximal) টিবিউলের কোষগুলির দ্বারা সক্রিয়ভাবে (actively) শোষিত হইয়া আবার রক্তে ফিরিয়া যায় (17.1 প্রসঙ্গের চতুর্থ প্যারা দ্রষ্টব্য)। এজন্যই স্বাভাবিক অবস্থায় মূত্রে কোনও শর্করা থাকে না। মধুমেহ (diabetes mellitus) রোগে রক্তে গ্লুকোজের পরিমাণ গ্লুকোজশোষণসীমার ঊর্ধ্বে ওঠে অর্থাৎ প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তে 170 মিলিগ্রাম ছাড়াইয়া যায় ; ফলে টিবিউলের পরিস্রুত রসে গ্লুকোজের আধিক্য ঘটিয়া মূত্রে গ্লুকোজ বাহির হইতে থাকে। আবার ফ্লোরহাইজিন প্রয়োগে বৃক্কের টিবিউল-কোষগুলির গ্লুকোজ শোষণের ক্ষমতা ব্যাহত করিলে রক্তে গ্লুকোজের পরিমাণ 170 মিলিগ্রামের নিচে থাকিলেও মূত্রে গ্লুকোজের আবির্ভাব ঘটে (বৃক্কীয় মধুমেহ, renal glucosuria)।

17.22 রক্তশর্করা ও কার্বোহাইড্রেট বিপাকের নিয়ন্ত্রণে হর্মোনের ভূমিকা

দেহে একাধিক হর্মোনের ক্রিয়ার সুসমঞ্জস সমন্বয়েই রক্তশর্করার স্বাভাবিক মাত্রা অক্ষুণ্ণ থাকে।

1. **ইনসুলিন :** কার্বোহাইড্রেটের বিপাক ও রক্তশর্করার নিয়ন্ত্রণে অগ্ন্যাশয়ের বিটা-কোষ হইতে ক্ষরিত ইনসুলিনের গুরুত্ব সর্বাধিক। প্রাণিদেহ হইতে অগ্ন্যাশয় কাটিয়া বাদ দিলে, অথবা অ্যালোক্সান, পিটুইটারি নির্যাস (pituitary extract) প্রভৃতি প্রয়োগে বিটা-কোষগুলিকে ক্ষতিগ্রস্ত করিলে, কিংবা বংশগত (genetic) বা অন্য কোনও আভ্যন্তরীণ কারণে ইনসুলিনের ক্ষরণ কমিয়া গেলে দেহে ইনসুলিনের অভাব ঘটিয়া মধুমেহ (diabetes

mellitus) রোগ দেখা দেয়। এই রোগে দেহে কার্বোহাইড্রেটের যথাযথ ব্যবহার বিঘ্নিত হওয়ায় রক্তে গ্লুকোজ জমিয়া রক্তশর্করার মাত্রা বাড়িয়া যায় (রক্তশর্করাধিক্য, hyperglycemia), গ্লুকোজ-সহনশীলতা (glucose tolerance) হ্রাস পায় এবং মূত্রে শর্করার আবির্ভাব ঘটে (glucosuria)। যকৃতে গ্লাইকোজেনোলাইসিস বাড়িয়াও রক্তে অতিরিক্ত শর্করা আসিতে থাকে এবং যকৃতে গ্লাইকোজেন হ্রাস পায়। কার্বোহাইড্রেটের বিপাক ব্যাহত হওয়ায় যকৃতে ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ বাড়াইয়া শক্তি উৎপাদনের প্রয়াস চলে ; ফলে ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণকালে উৎপন্ন কিটোনবর্গীয় বস্তুগুলির (ketone bodies) পরিমাণ দেহে বাড়িয়া যায় (ketosis), রক্তে তাহাদের আধিক্য ঘটে (ketonemia), মূত্রেও তাহারা আবির্ভূত হয় (ketonuria) এবং দেহে অম্লাধিক্য (acidosis) ঘটিয়া সংজ্ঞালোপ (coma) এবং মৃত্যু ঘটিতে পারে ; চোখে ছানি পড়িতে পারে। ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণঘটিত অ্যাসিটেট ও কিটোনবর্গীয় বস্তু হইতে কোলেস্টেরলের সংশ্লেষণ বাড়িয়া রক্তে কোলেস্টেরল বৃদ্ধি পায় এবং পরিণামে রক্তচাপবৃদ্ধি ও হৃদ্‌রোগের প্রবণতা দেখা দেয়। গ্লুকোনিওজেনেসিস্ বাড়িয়া দেহের প্রোটিন ক্ষয় পায় ; অংশতঃ এজন্য এবং অংশতঃ অত্যধিক রক্তশর্করার জন্য ক্ষত নিরাময়ে বিলম্ব ঘটে এবং ক্ষতস্থানে পচন (gangrene) দেখা দিতে পারে। ইনসুলিন প্রয়োগে মধুমেহের লক্ষণগুলি নিবারিত হয়, রক্তে শর্করা কমিয়া যায় এবং কার্বোহাইড্রেটের বিপাক বাড়ে।

পক্ষান্তরে, প্রয়োজনের অতিরিক্ত ইনসুলিন প্রয়োগ করিলে অথবা বিটা-কোষের টিউমার হইতে অত্যধিক ইনসুলিন ক্ষরিত হইয়া ইনসুলিনাধিক্য (hyperinsulinism) ঘটিলে রক্তে শর্করার পরিমাণ খুব কমিয়া যাওয়ায় মস্তিষ্কের কেন্দ্রগুলি অবদমিত হয়। ফলে দৌর্বল্য, তীব্র ক্ষুধা, বুক ধড়ফড় করা, ঘর্মক্ষরণ, অসংলগ্ন চিন্তা ও উক্তি, অঙ্গপ্রত্যঙ্গের কম্পন (tremor) ও আক্ষেপ (convulsion), উদ্বেগ, সংজ্ঞালোপ (insulin-shock) এবং শ্বাস-কেন্দ্রের নিষ্ক্রিয়তা ঘটিয়া মৃত্যু পর্যন্ত হইতে পারে। গ্লুকোজ সেবনে রোগীর রক্তশর্করা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে ইনসুলিন-শক কাটিয়া গিয়া চেতনা ফেরে।

কোনও কারণে রক্তে শর্করার পরিমাণ বাড়িলে ইনসুলিনের ক্ষরণ বাড়ে। নিম্নলিখিত ক্রিয়াগুলির মাধ্যমে ইনসুলিন রক্তশর্করার পরিমাণ ও গ্লুকোনিও-জেনেসিস কমায়, যকৃত ও অন্যান্য কলায় কার্বোহাইড্রেটের সঞ্চয় ও বিপাক বাড়ায়, গ্লুকোজ-সহনশীলতা এবং শর্করা হইতে ফ্যাটের উৎপাদনও বর্ধিত করে।

(*a*) ইনসুলিন সরেখ (striated) পেশী, হৃৎপেশী (cardiac muscle), মেদকলা (adipose tissue), স্তন, মহাধমনী প্রভৃতির কোষঝিল্লীতে গ্লুকোজ-পরিবহন বাড়াইয়া উহাদের কোষে গ্লুকোজের প্রবেশ বর্ধিত করে ; কিন্তু অন্ত্র, যকৃত, বৃক্ক প্রভৃতির কোষে গ্লুকোজের প্রবেশ ইনসুলিনের দ্বারা প্রভাবিত হয় না।

(*b*) ইনসুলিন পেশী ও অন্যান্য কলার কোষে অ্যামাইনো অ্যাসিডের প্রবেশ ও প্রোটিনের সংশ্লেষণ বাড়ায় এবং অ্যামাইনো অ্যাসিডের রক্তে আগমন ও ভাঙ্গন কমাইয়া দেয় ; তাহা ছাড়া পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, ফ্রুক্টোজ ডাইফসফাটেজ প্রভৃতি গ্লুকোনিওজেনেসিসের সহায়ক মুখ্য এনজাইমগুলির সংশ্লেষণও হ্রাস করে। এসকল কারণে উহা গ্লুকোনিওজেনেসিস কমাইয়া দেয়।

(*c*) ইনসুলিন যকৃতে গ্লুকোজ 6-ফসফাটেজের সংশ্লেষণ এবং সম্ভবতঃ ফসফোরিলেজের ক্রিয়া কমাইয়া দিয়া গ্লাইকোজেনোলাইসিস হ্রাস করে।

(*d*) ইনসুলিন মেদকলার কোষে গ্লুকোজের প্রবেশ ও বিপাক বাড়াইয়া সাইট্রেটের উৎপাদন বর্ধিত করে, সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের সংশ্লেষণ উদ্দীপিত করিয়া সাইট্রেট হইতে অধিকতর পরিমাণে অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন করে, অ্যাসেটাইল-কো-এ কার্বক্সিলেজ ও ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্থেটেজের সংশ্লেষণ উদ্দীপিত করিয়া ও অ্যাসেটাইল-কো-এ কার্বক্সিলেজকে সক্রিয় করিয়া তুলিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণ বহুগুণে বর্ধিত করে। তাহা ছাড়া ইনসুলিন ম্যালিক এনজাইম এবং পেণ্টোজ ফসফেট পথের গ্লুকোজ-6-ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের সংশ্লেষণ ও ক্রিয়া বাড়াইয়া এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH) উৎপাদন বর্ধিত করে এবং শেষোক্ত বস্তুটি ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষণে প্রত্যক্ষভাবে সাহায্য করে। এই সকল ক্রিয়ার ফলে ইনসুলিন মেদকলায় গ্লুকোজ হইতে ফ্যাটের সংশ্লেষণ বাড়ায়।

(*e*) পেশী, বৃক্ক, মেদকলা ও যকৃতে গ্লুকোকাইনেজ, হেক্সোকাইনেজ, ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ ও পাইরুভেট কাইনেজের সংশ্লেষণ উদ্দীপিত করিয়া ইনসুলিন গ্লাইকোলিসিস বাড়ায়, আবার পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়া বাড়াইয়া কার্বোহাইড্রেটের বায়ব (aerobic) জারণও বর্ধিত করে। ফলে কার্বোহাইড্রেট হইতে শক্তির উৎপাদন বৃদ্ধি পায়।

(*f*) মেদকলা, পেশী ও যকৃতে গ্লুকোকাইনেজ ও গ্লাইকোজেন সিন্থেটেজের সংশ্লেষণ উদ্দীপিত করিয়া এবং গ্লাইকোজেন সিন্থেটেজকে সক্রিয় করিয়া ইনসুলিন গ্লুকোজ হইতে গ্লাইকোজেনেসিস বাড়াইয়া দেয়।

2. গ্লুকাগন : অগ্ন্যাশয়ের অ্যালফা-কোষ হইতে ক্ষরিত গ্লুকাগনের ক্রিয়া অনেকাংশে ইনসুলিনের বিপরীত।

(*a*) গ্লুকাগন যকৃতে নিষ্ক্রিয় ফসফোরিলেজ অর্থাৎ ডিফসফোফসফোরিলেজকে সক্রিয় ফসফোফসফোরিলেজে পরিবর্তিত করিয়া গ্লাইকোজেনোলাইসিস বাড়ায় ; তাহা ছাড়া গ্লুকাগন গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজের সংশ্লেষণ উদ্দীপিত করিয়াও যকৃতে গ্লাইকোজেনোলাইসিসের বৃদ্ধি ঘটায়। ফলে যকৃতের গ্লাইকোজেন ভাঙ্গিয়া অধিকতর গ্লুকোজ রক্তে আসিয়া রক্তশর্করা বাড়ায় এবং যকৃতে গ্লাইকোজেনের পরিমাণ হ্রাস পায়। কিন্তু পেশীর ফসফোরিলেজের উপরে গ্লুকাগনের প্রভাব না থাকায় গ্লুকাগন রক্তে ল্যাক্টেট বাড়ায় না।

(*b*) যকৃত ও বৃক্কে ফ্রুক্টোজ ডাইফসফাটেজ, গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজ ও পাইরুভেট কার্বক্সিলেজের সংশ্লেষণ উদ্দীপিত করিয়া এবং সম্ভবতঃ ফসফোএনোল-পাইরুভেট কার্বক্সিকাইনেজকে সক্রিয় করিয়া গ্লুকাগন গ্লুকোনিওজেনেসিসের বৃদ্ধি ঘটায়। ইহার ফলেও রক্তশর্করা বৃদ্ধি পায়।

(*c*) গ্লুকাগন গ্লাইকোজেন সিন্থেটেজকে অবদমিত (inhibited) করিয়া গ্লাইকোজেনেসিস কমায়, ফলে রক্ত হইতে শর্করার অপসারণে বিলম্ব ঘটে।

(*d*) গ্লুকাগন পাইরুভেট কাইনেজ ও পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজের অবদমন ঘটাইয়া যথাক্রমে শর্করার অবায়ব (anaerobic) ও বায়ব (aerobic) জারণ হ্রাস করে।

এসকল কারণেই গ্লুকাগন ইন্জেক্শন দিলে প্রাণিদেহে রক্তশর্করার আধিক্য (hyperglycemia) এবং মূত্রে শর্করার আবির্ভাব (glucosuria) ঘটিয়া থাকে।

3. অ্যাড্রেন্যালিন : (*a*) অ্যাড্রেন্যালের মধ্যাংশ (medulla) হইতে ক্ষরিত অ্যাড্রেন্যালিন রক্তে গ্লুকোজ ও ল্যাক্টিক অ্যাসিডের পরিমাণ বাড়ায়। বস্তুতঃ অ্যাড্রেন্যালিন যকৃত ও পেশী উভয় কলাতেই গ্লাইকোজেন ফসফোরিলেজকে সক্রিয় করিয়া তোলে ; ফলে যকৃতে গ্লাইকোজেনোলাইসিস বাড়িয়া সঞ্চিত গ্লাইকোজেন হইতে উৎপন্ন গ্লুকোজ অধিক পরিমাণে রক্তে প্রবেশ করে এবং পেশীতে গ্লাইকোলিসিস বাড়িয়া ল্যাক্টিক অ্যাসিড তৈয়ারি হইয়া রক্তে আসে। (*b*) অ্যাড্রেন্যালিন পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজ ও ফ্রুক্টোজ ডাইফসফাটেজের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া ল্যাক্টেট, অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রভৃতি হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের দ্বারা গ্লুকোজের সংশ্লেষণ বর্ধিত করে।

(*c*) অ্যাড্রেন্যালিন মেদকলায় (adipose tissue) চর্বিবিশ্লেষ (lipolysis) ঘটাইয়া রক্তে ফ্যাটি অ্যাসিডের প্রবেশ বাড়ায় এবং ঐসকল ফ্যাটি অ্যাসিড হৃৎপেশী ও অন্যান্য কলায় শর্করার পরিবর্তে শক্তি উৎপাদনে ব্যবহৃত হওয়ায় রক্তশর্করার ব্যয় কমিয়া যায়। শেষোক্ত দুই কারণেও অ্যাড্রেন্যালিন রক্তশর্করাকে এবং হৃৎপেশীর গ্লাইকোজেনকে বাড়াইতে পারে। রক্তে গ্লুকোজের মাত্রাল্পতা ঘটিলে অ্যাড্রেন্যালিন ক্ষরিত হয় এবং তাহার প্রভাবে রক্তশর্করা পূর্বের মাত্রায় উন্নীত হইতে পারে।

4. **গ্লুকোকর্টিকয়েড :** অ্যাড্রেন্যালের বাহ্যাংশ (cortex) হইতে ক্ষরিত কর্টিসল, কর্টিকোস্টেরোন, কর্টিসোন প্রভৃতি গ্লুকোকর্টিকয়েড হর্মোনগুলির ক্রিয়া মোটামুটি ইনসুলিনের বিপরীত—ইহারা রক্তশর্করা বাড়ায়, কার্বোহাইড্রেট-সহনশীলতা (carbohydrate tolerance) কমায়, কিন্তু গ্লুকোনিওজেনেসিস বাড়াইয়া যকৃতে গ্লাইকোজেন বর্ধিত করে। অ্যাড্রেন্যালের বাহ্যাংশের অতি-ক্ষরণের (hypersecretion) ফলে কুশিং-বর্ণিত রোগ (Cushing's syndrome) হইলে রক্তশর্করার মাত্রাধিক্য ঘটে এবং মূত্রে শর্করা বাহির হয়; আবার অ্যাড্রেন্যালের বাহ্যাংশের কর্মহানি ঘটিয়া অ্যাডিসন-বর্ণিত রোগ (Addison's disease) জন্মাইলে গ্লুকোকর্টিকয়েডের ক্ষরণ কমিয়া গিয়া রক্তশর্করার মাত্রাল্পতা ও শর্করা-সহনশীলতার বৃদ্ধি ঘটে। কোনও প্রাণীর অ্যাড্রেন্যাল অপসারণের পরে তাহাকে উপবাস করাইলে স্বাভাবিক উপবাসী প্রাণীর তুলনায় অনেক দ্রুততর গতিতে তাহার রক্তশর্করা ও যকৃতের গ্লাইকোজেন হ্রাস পায়। অন্যদিকে প্রাণিদেহ হইতে অগ্ন্যাশয়ের একাংশ অপসারণের পরে দীর্ঘকাল গ্লুকোকর্টিকয়েড ইন্‌জেক্‌শন দিলে স্থায়ী মধুমেহ রোগের সৃষ্টি হয়।

(*a*) গ্লুকোকর্টিকয়েডগুলি বিভিন্ন ট্রান্সঅ্যামাইনেজ, ট্রিপ্‌টোফ্যান অক্সিজেনেজ প্রভৃতি প্রোটিন-বিপাকের এনজাইমগুলির সংশ্লেষণ বাড়াইয়া প্রোটিনের অপচিতি (catabolism) বর্ধিত করে, ফলে অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে বিভিন্ন শর্করাপ্রদ (glucogenic) বস্তুর উৎপত্তি ঘটে। দ্বিতীয়তঃ গ্লুকোকর্টিকয়েডগুলি মেদকলায় (adipose tissue) চর্বিবিশ্লেষ (lipolysis) উদ্দীপিত করিয়া শর্করাপ্রদ গ্লিসেরলকে মুক্ত করিয়া দেয় এবং তাহা হইতেও শর্করার উৎপত্তি ঘটিতে পারে। তৃতীয়তঃ গ্লুকোকর্টিকয়েডগুলি যকৃত-কোষে গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজ, ফসফোএনোলপাইরুভেট কার্বক্সিকাইনেজ, পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ ও ফ্রুক্‌টোজ ডাইফসফাটেজের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া নানাপ্রকার শর্করাপ্রদ বস্তু হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিস্ বর্ধিত করে। ফলে রক্তশর্করা ও যকৃতের গ্লাইকোজেন বৃদ্ধি পায়।

(*b*) গ্লুকোকর্টিকয়েডগুলি যকৃতে গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজের সংশ্লেষণ উদ্দীপিত করিয়া গ্লাইকোজেনোলাইসিস বর্ধিত করে, ফলে যকৃতের গ্লাইকোজেন হইতে উৎপন্ন গ্লুকোজ রক্তে আসিয়া রক্তশর্করা বৃদ্ধি পায়।

(*c*) গ্লুকোকর্টিকয়েডগুলি গ্লাইকোলিসিসের কোনও এনজাইমের ক্রিয়াকে প্রত্যক্ষভাবে প্রভাবিত করে না, কিন্তু এই হর্মোনগুলির ইনসুলিন-বিরোধী (anti-insulin) ক্রিয়ার ফলে পেশী, মেদকলা, লসিকাপর্ব প্রভৃতির কোষমধ্যে গ্লুকোজের প্রবেশ হ্রাস পায়; অন্যদিকে গ্লুকোকর্টিকয়েডের প্রভাবে মেদকলায় চর্বিবিশ্লেষ বাড়িয়া রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড বৃদ্ধি পায় এবং তাহা শর্করার পরিবর্তে শক্তি-উৎপাদনে প্রযুক্ত হওয়ায় গ্লুকোজের বিপাক কমিয়া যায়। এই উভয় কারণেই রক্তশর্করার বৃদ্ধি ও গ্লুকোজ-সহনশীলতার অবনতি ঘটিতে পারে।

5. **থাইরক্সিন :** থাইরয়েডের হর্মোন থাইরক্সিনের ক্রিয়াও কতকাংশে ইনসুলিনের বিপরীত। থাইরক্সিনের অতিক্ষরণের ফলে **গ্রেভ্‌স্‌-বর্ণিত রোগ** (Grave's disease) জন্মিলে রক্তশর্করা বাড়িয়া ও শর্করা-সহনশীলতা কমিয়া মূত্রে শর্করা দেখা দেয় এবং যকৃতে গ্লাইকোজেন হ্রাস পায়। থাইরয়েড কাটিয়া বাদ দিয়া মানবেতর প্রাণীর মধুমেহ রোগের তীব্রতা কমাইতে পারা যায়। অগ্ন্যাশয়ের একাংশ অপসারণের পরে ক্রমাগত থাইরক্সিন সেবন করাইলে স্থায়ী মধুমেহ সৃষ্ট হয়। থাইরক্সিনের অভাবজনিত **মিক্সিডিমা** (myxœdema) রোগে অন্ত্র হইতে গ্লুকোজের শোষণ ও রক্তশর্করা হ্রাস পায় এবং শর্করা-সহনশীলতা বাড়ে।

(*a*) থাইরক্সিন ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে গ্লুকোজের সক্রিয় শোষণ (active absorption) যথেষ্ট বাড়াইয়া দেয়; ফলে বিশেষতঃ আহারের পরে রক্ত-শর্করার মাত্রাবৃদ্ধি ইহার দ্বারা প্রভাবিত হয়।

(*b*) থাইরক্সিন একদিকে ম্যালিক এনজাইম এবং পেণ্টোজ ফসফেট পথের গ্লুকোজ-6-ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়া বাড়াইয়া এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH) উৎপাদন বর্ধিত করে, অন্যদিকে সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়া বাড়াইয়া সাইট্রিক অ্যাসিড হইতে অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপাদনের হার বৃদ্ধি করে। এই উভয় ক্রিয়ার ফলেই থাইরক্সিন গ্লুকোজ হইতে ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণ বাড়ায়।

(*c*) কোষের মাইটোকনড্রিয়ায় সাক্সিনোঅক্সিডেজ এবং অন্যান্য জারণ-সহায়ক (oxidizing) এনজাইমের ক্রিয়া বাড়াইয়া থাইরক্সিন কলায় কার্বোহাইড্রেটের জারণ বাড়াইতে পারে।

(*d*) গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজের ক্রিয়া বাড়াইয়া থাইরক্সিন গ্লাইকোজেনো-লাইসিস্ বর্ধিত করিতে পারে।

(*e*) থাইরক্সিন প্রোটিনের বিপাকজাত বস্তু হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের দ্বারা গ্লুকোজের উৎপাদন বাড়ায়।

(*f*) থাইরক্সিন ইনসুলিনের অপচিতি (catabolism) এবং অগ্ন্যাশয়ের বিটা-কোষগুলির অবদমন ঘটাইতে পারে।

6. **গ্রোথ হর্মোন:** ওউস্‌সাই (Houssay) ও তাঁহার সহকর্মীরা কুকুরের অগ্ন্যাশয় ও পিটুইটারি উভয় গ্রন্থিই অপসারণ করিয়াছিলেন; এরূপ প্রাণীকে **ওউস্‌সাই-বর্ণিত প্রাণী** (Houssay animal) বলে। উহার রক্তে শর্করা প্রায় স্বাভাবিক থাকে, মূত্রে খুব সামান্যই শর্করা পাওয়া যায়, যকৃতে গ্লাইকোজেন মধুমেহের তুলনায় কিছু বেশি থাকে এবং সুস্থতার জন্য নিয়মিত ইনসুলিন প্রয়োগের প্রয়োজন হয় না। কিন্তু এরূপ প্রাণীকে অল্প গ্লুকোজ অথবা সম্মুখখণ্ডের নির্যাস (anterior lobe extract) সেবন করাইলেই তীব্র মধুমেহের লক্ষণ প্রকট হয়, আবার অল্প ইনসুলিন প্রয়োগেই রক্তশর্করা দ্রুত কমিয়া ইনসুলিন-শক সৃষ্ট হয়। বোঝা যাইতেছে যে ইনসুলিন ও পিটুই-টারির সম্মুখখণ্ডের পরস্পরবিরোধী ক্রিয়ার সাম্যেই রক্তশর্করা স্বাভাবিক থাকে।

সম্মুখখণ্ডের গ্রোথ হর্মোনের ক্রিয়া ইনসুলিনের বিপরীত। দীর্ঘকাল পিটুইটারির সম্মুখখণ্ডের নির্যাস (extract) অথবা গ্রোথ হর্মোন ইন্‌জেক্‌শন দিলে অগ্ন্যাশয়ে বিটা-কোষের বিনাশ ঘটে ও ইনসুলিনের পরিমাণ হ্রাস পায় এবং মধুমেহ (diabetes mellitus) রোগ দেখা দেয়; ইহাকে পিটুইটারির **মধুমেহ-উৎপাদক ক্রিয়া** (diabetogenic action) বলে। অবশ্য রক্তশর্করার বৃদ্ধি ও মধুমেহ প্রকট হওয়ার পূর্বে উক্ত নির্যাস বা হর্মোনের প্রভাবে কিছুকালের জন্য ইনসুলিনের ক্ষরণ বৃদ্ধি পাইয়া রক্তশর্করা লক্ষণীয়ভাবে হ্রাস পায়; ইহাকে পিটুইটারির **অগ্ন্যাশয়োদ্দীপক ক্রিয়া** (pancreotropic action) বলে। অগ্ন্যাশয়ের একাংশ অপসারণের পরে কিছুকাল পিটুইটারির সম্মুখ-খণ্ডের নির্যাস ইনজেকশন দিলে স্থায়ী মধুমেহ রোগ জন্মায়। পক্ষান্তরে অগ্ন্যাশয় অপসারণ করিলে যে মধুমেহ রোগ দেখা দেয়, তাহার তীব্রতা পিটুইটারি অপসারণে প্রশমিত হয়।

পিটুইটারির সম্মুখখণ্ডের নির্যাস অথবা গ্রোথ হর্মোন প্রয়োগে প্রাণীর ইন্‌সুলিন-কাতরতা (insulin sensitivity) কমিয়া যায় অর্থাৎ তখন ইন-সুলিনের প্রভাবে রক্তশর্করা অপেক্ষাকৃত অল্প হ্রাস পায়। অন্যদিকে পিটুই-

টারির সম্মুখখণ্ড অপসারণে ইনসুলিন-কাতরতা এবং ইনসুলিন-শকের প্রবণতা বাড়িয়া যায়। পিটুইটারির সম্মুখখণ্ডের নির্যাসের এরূপ ইনসুলিনের প্রতিকূল ক্রিয়াকে **ইনসুলিন-বিরোধী ক্রিয়া** (anti-insulin action) বলে।

পিটুইটারি অপসারণের পরে প্রাণীকে অনাহারে রাখিলে পেশীতে গ্লাইকোজেনের পরিমাণ স্বাভাবিক উপবাসী প্রাণীর তুলনায় অধিকতর ও দ্রুততর হ্রাস পায়; সম্মুখখণ্ডের নির্যাস বা গ্রোথ হর্মোনের প্রয়োগে গ্লাইকোজেন হ্রাসের হার কমিয়া যায় এবং ঐচ্ছিক পেশী, হৃৎপেশী প্রভৃতি কলায় গ্লাইকোজেনের সঞ্চয় রক্ষা করা সহজসাধ্য হয়; ইহাকে সম্মুখখণ্ডের ও গ্রোথ হর্মোনের **গ্লাইকোজেন-স্থিতীয় ক্রিয়া** (glycostatic action) বলে।

গ্রোথ হর্মোনের আধিক্যজনিত **জাইগ্যান্‌টিজ্‌ম্‌** (gigantism) ও **অ্যাক্রোমেগালি** (acromegaly) রোগে রক্তে শর্করা বৃদ্ধি পায়, মূত্রে শর্করা দেখা দেয় এবং শর্করা-সহনশীলতা কমিয়া যায়। সম্মুখখণ্ডের ক্রিয়া নষ্ট হইয়া **সিমণ্ড-বর্ণিত রোগ** (Simmond's disease) জন্মিলে রক্তে শর্করার মাত্রাল্পতা ঘটে।

গ্রোথ হর্মোন (*a*) পেশীর কোষমধ্যে গ্লুকোজের প্রবেশ কমাইয়া দেয়, (*b*) হেক্সোকাইনেজ, ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ প্রভৃতি গ্লাইকোলিসিসের কয়েকটি মুখ্য এনজাইমের ক্রিয়া কমাইয়া কোষমধ্যে গ্লুকোজের বিপাক হ্রাস করে, (*c*) মেদকলায় (adipose tissue) লাইপেজের ক্রিয়া বর্ধিত করিয়া সঞ্চিত ফ্যাটের জলবিশ্লেষের দ্বারা রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের প্রবেশ বাড়ায় এবং শক্তি উৎপাদনে এগুলি সহজলভ্য হওয়ায় শর্করার বিপাক কমিয়া যায়, (*d*) মেদকলার কোষমধ্যে গ্লুকোজের প্রবেশ ও তাহা হইতে ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণ কমাইয়া দেয়, (*e*) যকৃতে অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের দ্বারা গ্লুকোজ ও গ্লাইকোজেনের সংশ্লেষণ বর্ধিত করে এবং (*f*) গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজের ক্রিয়া বাড়াইয়া গ্লাইকোজেনোলাইসিস্ বর্ধিত করিতে পারে।

7. **প্রোল্যাক্‌টিন :** পিটুইটারির সম্মুখখণ্ডের এই হর্মোনটি গ্রোথ হর্মোনের অনুরূপ ক্রিয়ার মাধ্যমে রক্তশর্করা বাড়াইতে, ইনসুলিনের প্রতিকূলতা করিতে এবং মধুমেহ উৎপাদন করিতে পারে।

8. **কর্টিকোট্রোপিন :** পিটুইটারির সম্মুখখণ্ডের এই হর্মোনটি অ্যাড্রেন্যালের বাহ্যাংশ (cortex) হইতে গ্লুকোকর্টিকয়েডগুলির ক্ষরণ উদ্দীপিত করিয়া তাহাদের মাধ্যমেই গ্লুকোনিওজেনেসিস ও গ্লাইকোজেনোলাইসিস

বাড়াইয়া রক্তশর্করা ও যকৃতের গ্লাইকোজেন বর্ধিত করিতে পারে। বস্তুতঃ কর্টিকোট্রোপিনের অতিক্ষরণের (hypersecretion) ফলে **কুশিং-বর্ণিত রোগ** (Cushing's syndrome) জন্মিয়া রক্তশর্করার বৃদ্ধি, শর্করা-সহনশীলতার অবনতি এবং মূত্রে শর্করার আবির্ভাব ঘটিতে পারে।

9. **সোম্যাটোস্ট্যাটিন :** মস্তিষ্কের হাইপোথ্যালামাস হইতে ক্ষরিত এই হর্মোনটি পিটুইটারি হইতে গ্রোথ হর্মোনের ক্ষরণ কমাইয়া পরোক্ষে কার্বো-হাইড্রেট বিপাককে প্রভাবিত করে। আবার অগ্ন্যাশয়ের কোষদ্বীপের (islets) ডি কোষগুলি হইতে ক্ষরিত সোম্যাটোস্ট্যাটিন বিটা ও অ্যালফা কোষগুলিকে অবদমিত করিয়া যথাক্রমে ইনসুলিন ও গ্লুকাগনের ক্ষরণ কমাইয়া দেয়। বস্তুতঃ সোম্যাটোস্ট্যাটিন দেহে গ্লুকাগন-জনিত রক্তশর্করার বৃদ্ধিকে প্রশমিত করে এবং ইনসুলিন ও গ্লুকাগনের ক্রিয়ার সুসমঞ্জস সঙ্গতি আনে—গ্লুকাগনের ক্ষরণ হ্রাস করিয়া সোম্যাটোস্ট্যাটিন দেহে গ্লুকোনিওজেনেসিস্ ও গ্লাইকো-জেনোলাইসিস্ কমাইয়া দেয়, ফলে রক্তশর্করা কমিবার প্রবণতা দেখা দেয় এবং ইনসুলিন ক্ষরণের প্রয়োজনীয়তাও হ্রাস পায়। মধুমেহ রোগের তীব্রতা প্রশমনে সোম্যাটোস্ট্যাটিন প্রয়োগে সুফল পাওয়া যায়।

অষ্টাদশ পরিচ্ছেদ

লিপিড বিপাক

(Lipid metabolism)

খাদ্য হইতে শোষিত বিভিন্ন প্রকার লিপিড লসিকা (lymph) ও রক্তে বাহিত হইয়া যকৃত, মেদকলা (adipose tissue) প্রভৃতি অঙ্গ ও কলায় পৌঁছায়। ফসফোলিপিড, গ্লাইকোলিপিড, গ্যাংগ্লিওসাইড ও স্টেরল প্রধানতঃ কোষ ও কলার গঠনে অপরিহার্য উপাদানরূপে ব্যবহৃত হয়। ট্রাইগ্লিসেরাইড ফ্যাট মুখ্যতঃ ভবিষ্যতে শক্তি উৎপাদনের জন্য মেদকলায় সঞ্চিত থাকে এবং প্রয়োজনমত তাহার জারণে শক্তি উৎপন্ন হয়।

18.1 রক্তের লিপিড ও লাইপোপ্রোটিন

রক্তরসে (plasma) ট্রাইগ্লিসেরাইড, ফসফোলিপিড, কোলেস্টেরল, কোলেস্টেরল এস্টার, মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য পরিমাণে বর্তমান (সারণী 18.1 দ্রষ্টব্য)। লোহিত রক্তকণিকায় রক্তরসের তুলনায় ফসফোলিপিড, গ্লাইকোলিপিড ও মুক্ত কোলেস্টেরলের পরিমাণ অনেক বেশি,

সারণী 18.1. প্রতি ডেসিলিটার রক্তরসে লিপিডের পরিমাণ (মিলিগ্রামে)।

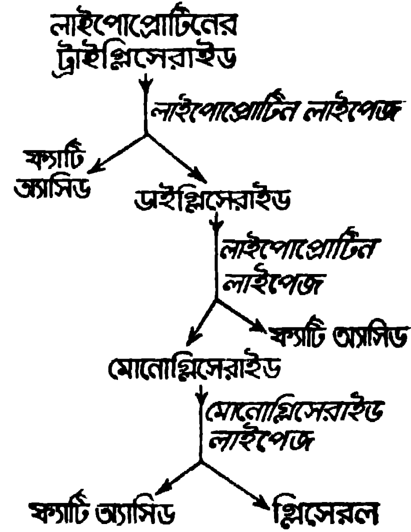
লিপিড	স্বাভাবিক প্রসার	গড় পরিমাণ
মোট লিপিড	300-680	490
ট্রাইগ্লিসেরাইড	100-220	160
মোট ফসফোলিপিড	130-250	190
লেসিথিন	85-180	125
কেফালিন	55-100	87
স্ফিংগোমায়ালিন	15-30	20
প্লাজমালোজেন	5-10	8
মোট কোলেস্টেরল	120-260	165
মুক্ত কোলেস্টেরল	30-80	55
কোলেস্টেরল এস্টার	80-200	110
মোট ফ্যাটি অ্যাসিড	170-500	240
মুক্ত আকারে	8-25	12
ট্রাইগ্লিসেরাইডে	75-225	105
ফসফোলিপিডে	60-150	84
কোলেস্টেরল এস্টারে	25-100	36

কিন্তু কোলেস্টেরল এস্টারের পরিমাণ অনেক কম। রক্তরসে গ্লাইকোলিপিডের পরিমাণ যৎসামান্য। রক্তরসের মোট ফ্যাটি অ্যাসিডের মাত্র 5-7% মুক্ত অবস্থায় এবং অবশিষ্ট প্রায় 95% নানা এস্টারের আকারে বর্তমান। মুক্ত দীর্ঘাণু (long-chain) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি, তাহাদের ট্রাইগ্লিসেরাইড এস্টার এবং কোলেস্টেরল ও তাহার এস্টারগুলি জলদ্রাব্য নয়। এজন্য তাহারা অপেক্ষাকৃত জলদ্রাব্য ফসফোলিপিডের সহিত রক্তরসের জলদ্রাব্য গ্লোবিউলিন নামক প্রোটিনগুলিতে যুক্ত হইয়া লাইপোপ্রোটিন রূপে রক্তরসে বাহিত হয়; তড়িতক্ষেত্রে (electrical field) তাহাদের গতিবেগের উপরে নির্ভর করিয়া লাইপোপ্রোটিনগুলিকে ইলেক্‌ট্রোফোরেসিস্ পদ্ধতিতে অ্যালফা- ও বিটা-লাইপোপ্রোটিনে ভাগ করা হয়। ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত লিপিডগুলিও প্রধানতঃ কাইলোমাইক্রন নামক লাইপোপ্রোটিন কণার আকারে লসিকা দিয়া রক্তে আসে (18.2 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। কিছু মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড রক্তরসের অ্যালবুমিন নামক প্রোটিনে যুক্ত হইয়া জলদ্রাব্য যৌগরূপে রক্তরসে থাকে। লাইপোপ্রোটিনে প্রোটিনের তুলনায় লিপিডের পরিমাণ যত বৃদ্ধি পায়, লাইপোপ্রোটিনের ঘনত্ব (density) তত হ্রাস পায় এবং ব্যাস বর্ধিত হয় (সারণী 18.2 দ্রষ্টব্য)। অ্যাল্‌ফা-লাইপোপ্রোটিনের মোট পরিমাণের প্রায় $\frac{8}{9}-\frac{10}{11}$ অংশ অত্যুচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (VHDL or very high density lipoproteins) এবং অবশিষ্ট $\frac{1}{11}-\frac{1}{9}$ অংশ উচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (HDL or high density lipoproteins)। বিটা-লাইপোপ্রোটিনের মোট পরিমাণের প্রায় $\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$ অংশ নিম্ন ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (LDL or low density lipoproteins) এবং অবশিষ্ট $\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$ অংশ অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (VLDL or very low density lipoproteins)। লাইপোপ্রোটিনের প্রোটিন অংশ AI, AII, B, CI, CII, CIII, E প্রভৃতি নানাপ্রকার অ্যাপোলাইপোপ্রোটিনে গঠিত।

অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (VLDL) এবং কাইলোমাইক্রন যথাক্রমে যকৃত এবং ক্ষুদ্রান্ত্রের কোষে সংশ্লেষিত হইয়া রক্তে আসে। ঐ দুই প্রকার লাইপোপ্রোটিনের আংশিক জলবিশ্লেষের ফলে রক্তরসে নিম্ন ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনের (LDL) উৎপত্তি ঘটে। উচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনগুলিরও প্রধান উৎস যকৃত-কোষ; তাহা ছাড়া ইহারা অংশতঃ ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর কোষগুলিতে উৎপন্ন হইয়া রক্তরসে আসিয়া সুপরিণত হয়। অধিকাংশ মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড মেদকলায় চর্বিবিশ্লেষের (adipose tissue lipolysis) ফলে উৎপন্ন হইয়া রক্তে আসে (18.2 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

18.2 চর্বিসঞ্চয় ও চর্বিবিশ্লেষ (storage and lipolysis of fat)

যকৃতে বিশেষ ফ্যাট সঞ্চিত হয় না—ট্রাইগ্লিসেরাইড, ফসফোলিপিড, স্টেরল প্রভৃতি সকল লিপিড মিলাইয়া যকৃতে মোট লিপিডের পরিমাণ 5% মাত্র। উপত্বক (subcutaneous tissue), পেরিটোনিয়াম ও সুবিকশিত স্তনে এবং বৃক্ক, প্লীহা প্রভৃতি অঙ্গের চারিপাশের যোগকলায় মেদকলার (adipose tissue) প্রাচুর্য দেখা যায়; মেদকলাই চর্বির মুখ্য সঞ্চয়কেন্দ্র (fat depot) এবং ইহার চর্বিকোষগুলির (fat cells) মধ্যে যথেষ্ট ট্রাইগ্লিসেরাইড সঞ্চিত থাকে। ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে আনীত কাইলোমাইক্রন কণাগুলি এবং যকৃত হইতে আগত অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (VLDL) কণাগুলি মেদকলা, মধ্যচ্ছদা, হৃৎপিণ্ড, স্তন, বৃক্কের মধ্যাংশ (renal medulla), মহাধমনী প্রভৃতি যকৃতেতর (extrahepatic) কলায় পৌঁছিয়া উহাদের কোষঝিল্লীতে অথবা কৈশিকগাত্রে (capillary wall) অবস্থিত লাইপোপ্রোটিন লাইপেজ নামক এনজাইমের ক্রিয়ায় জল-বিশ্লিষ্ট (hydrolysed) হইতে থাকে; ফলে কাইলোমাইক্রন ও লাইপোপ্রোটিন কণাগুলির অন্তর্গত ট্রাইগ্লিসেরাইড অণুর জলবিশ্লেষ ঘটিয়া প্রথমে ডাইগ্লিসেরাইড ও এক অণু মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড এবং পরে মোনো-গ্লিসেরাইড ও আরও এক অণু ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন হয় (চিত্র 18.1)। সবশেষে স্বতন্ত্র একটি মোনোগ্লিসেরাইড লাইপেজের ক্রিয়ায় মোনোগ্লিসেরাইড জলবিশ্লিষ্ট হইয়া মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড ও গ্লিসেরলে পরিণত হয়। এভাবে উৎপন্ন মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড অণুগুলি মেদকলা, স্তন, হৃৎপিণ্ড, বৃক্ক প্রভৃতি যকৃতেতর কলার কোষ-মধ্যে প্রবেশ করে। হৃৎপিণ্ড, বৃক্ক প্রভৃতির কোষে উহারা প্রধানতঃ জারিত (oxidized) হইয়া শক্তি উৎপন্ন করে। মেদকলা ও স্তনে ঐ মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি বিভিন্ন থায়োকাইনেজ, এটিপি ও কোএনজাইম এ-র সাহায্যে অ্যাসাইল-কো-এ (acyl-CoA) অণুতে পরিবর্তিত হইয়া যায়; শেষোক্ত অ্যাসাইল-কো-এ অণুগুলি হইতে ফ্যাটি অ্যাসিড অংশ অংশতঃ বিটা-জারণের (beta oxidation) মাধ্যমে শক্তি উৎপাদনে প্রযুক্ত হয় এবং অংশতঃ একাধিক অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের সাহায্যে অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেট অণুতে গিয়া



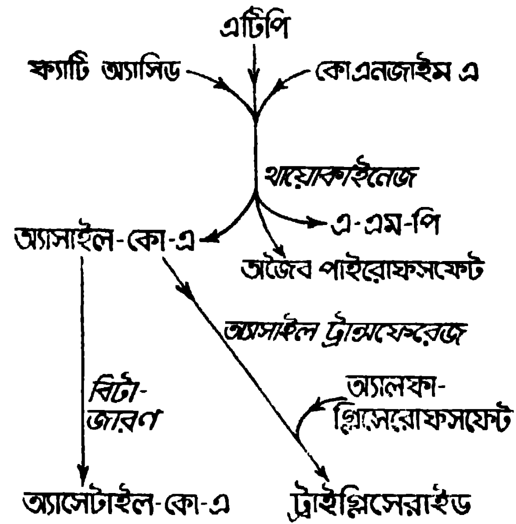
চিত্র 18.1. লাইপোপ্রোটিনের জলবিশ্লেষ।

সারণী 18.2. রক্তরসের লাইপোপ্রোটিন।

	অ্যালবুমিন-ফ্যাটি অ্যাসিড যৌগ	অত্যুচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন	উচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন	নিম্ন ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন	অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন	কাইলোমাইক্রন
পরিমাণ (মিলিগ্রাম/ডেসিলিটার)		300-400	60-120	200-350	150-200	100-250
ঘনত্ব	>1.28	>1.210	1.063-1.210	1.006-1.063	0.96-1.006	<0.96
ব্যাস (ন্যানোমিটার)		8-10	10-18	20-30	30 75	80-100
প্রোটিন (%)	99	55	34	23	8	2
মোট লিপিড (%)	1	45	66	77	92	98
ট্রাইগ্লিসেরাইড (%)	0	6	8	10	53	89
ফসফোলিপিড (%)	0	22	30	20	18	4
কোলেস্টেরল এস্টার (%)	0	12	20	37	14	4
মুক্ত কোলেস্টেরল (%)	0	3	8	9	6	1
মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড (%)	1	2	—	1	1	—

যুক্ত হইয়া ট্রাইগ্লিসেরাইড ফ্যাট উৎপন্ন করে এবং তাহা চর্বিকোষগুলিতে সঞ্চিত থাকে (চিত্র 18.2)।

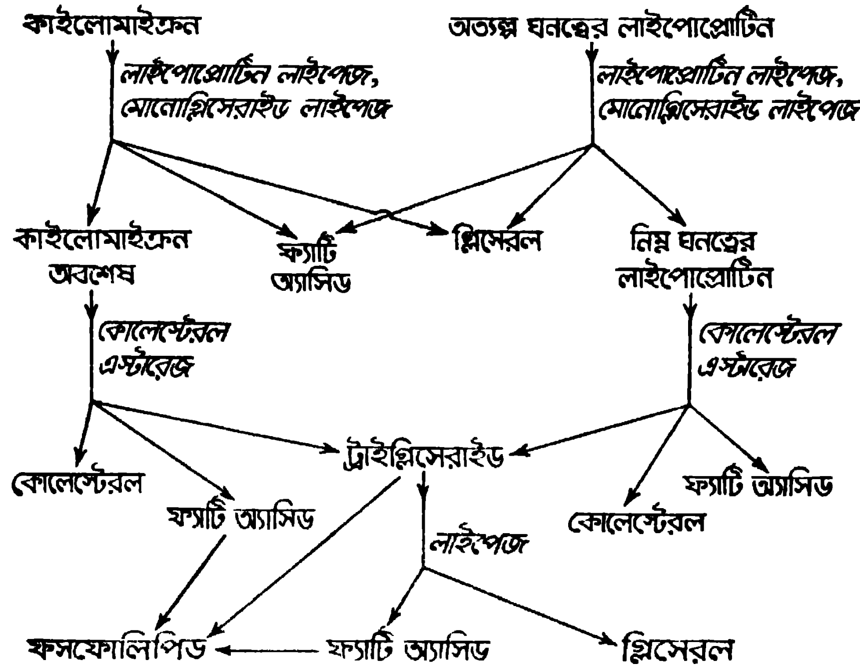
যকৃতেতর কলাগুলিতে কাইলোমাইক্রন এবং অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (VLDL) কণা হইতে ট্রাইগ্লিসেরাইড অণুর জলবিশ্লেষ ও অপসারণের ফলে ঐ কণাগুলির আয়তন এবং সেগুলিতে ট্রাইগ্লিসেরাইডের পরিমাণ খুব কমিয়া যায়, কিন্তু কোলেস্টেরল ও তাহার এস্টারগুলির পরিমাণ প্রায় অপরিবর্তিত থাকে। এভাবে কাইলোমাইক্রন হইতে কাইলোমাইক্রন-অবশেষ (chylomicron remnant) এবং অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন হইতে নিম্ন ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (LDL) উৎপন্ন হয় (চিত্র 18.3)। এই স্টেরলসমৃদ্ধ ক্ষুদ্র লাইপোপ্রোটিন কণাগুলি রক্তে বাহিত হইয়া যকৃতে পৌঁছিলে যকৃতের কোলেস্টেরল এস্টারেজের ক্রিয়ায় উহাদের কোলেস্টেরল এস্টারগুলি জল-বিশ্লিষ্ট হইয়া মুক্ত কোলেস্টেরল ও ফ্যাটি অ্যাসিডরূপে কোষমধ্যে গৃহীত হয় এবং অবশিষ্ট ট্রাইগ্লিসেরাইড অণুগুলি হয় লাইপেজের দ্বারা জলবিশ্লেষের মাধ্যমে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড দান করে, না হয় অ্যাসাইল ট্রান্স-ফেরেজের সাহায্যে তাহাদের ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি সরাসরি ফসফোলিপিড সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। এইভাবে যকৃত ঐসকল লাইপোপ্রোটিনকে রক্তরস হইতে অপসারণ করে। পক্ষান্তরে যকৃত-কোষে এভাবে সংগৃহীত ফ্যাটি অ্যাসিড হইতে ট্রাইগ্লিসেরাইড ও ফসফোলিপিড উৎপাদন করিয়া এবং নানাপ্রকার অ্যাপোলাইপোপ্রোটিন সংশ্লেষণ করিয়া তাহাদের মিলনে প্রধানতঃ অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (VLDL) এবং কিছু পরিমাণে উচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (HDL) উৎপাদন করা হয় এবং ঐসকল লাইপোপ্রোটিনকে রক্তরসে ছাড়িয়া দেওয়া হয়। এজন্যই যকৃতে অধিক পরিমাণে ট্রাইগ্লিসেরাইড সঞ্চিত থাকে না। অবশ্য কোনও কারণে যকৃতে ফসফোলিপিড ও লাইপোপ্রোটিনের উৎপাদন প্রয়োজনের তুলনায় অপর্যাপ্ত (insufficient) হইলে যকৃতে অত্যধিক



চিত্র 18.2. মেদকলায় ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিণাম।

ট্রাইগ্লিসেরাইড জমিয়া যকৃত চর্বিভারাক্রান্ত (fatty) হইয়া পড়ে ও তাহার স্বাভাবিক ক্রিয়ায় ব্যাঘাত ঘটে (18.3 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

মেদকলায় সঞ্চিত ট্রাইগ্লিসেরাইড চর্বিকোষের ভিতরে বর্তমান অ্যাডিপোজ টিস্যু লাইপেজ বা হর্মোন-সেনসিটিভ ট্রাইগ্লিসেরাইড লাইপেজ নামক এনজাইমের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইলে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড ও ডাইগ্লিসেরাইড উৎপন্ন হয়; শেষোক্ত বস্তুটি ডাইগ্লিসেরাইড লাইপেজের দ্বারা জলবিশ্লিষ্ট হইয়া মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড ও মোনোগ্লিসেরাইড দান করে: সর্বশেষে



চিত্র 18.3. কাইলোমাইক্রন ও অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনের পরিণাম।

মোনোগ্লিসেরাইড লাইপেজের ক্রিয়ায় মোনোগ্লিসেরাইডের জলবিশ্লেষ ঘটিয়া গ্লিসেরল ও ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। মেদকলায় সঞ্চিত ট্রাইগ্লিসেরাইডের এরূপ জলবিশ্লেষকে চর্বিবিশ্লেষ (lipolysis) বলে। ইহার ফলে উৎপন্ন ফ্যাটি অ্যাসিডের মুক্ত অণুগুলি অংশতঃ মেদকলায় বিটা-জারণ (beta oxidation) পদ্ধতিতে জারিত হয় এবং অংশতঃ রক্তে আসিয়া প্রধানতঃ অ্যালবুমিন-ফ্যাটি অ্যাসিড যৌগের আকারে রক্তরসে বাহিত হইতে থাকে। হৃৎপেশী, যকৃত, বৃক্ক প্রভৃতির কোষগুলি রক্তরস হইতে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডগুলিকে অপসারণ করিয়া তাহাদের বিটা-জারণ ঘটাইতে পারে। মেদকলায় গ্লিসেরোকাইনেজের অভাব থাকায় চর্বিবিশ্লেষের ফলে মুক্ত গ্লিসেরল ঐ কলায় জারিত হইতে পারে না এবং রক্তরসে বাহির হইয়া আসিয়া যকৃতে গিয়া জারিত হয়।

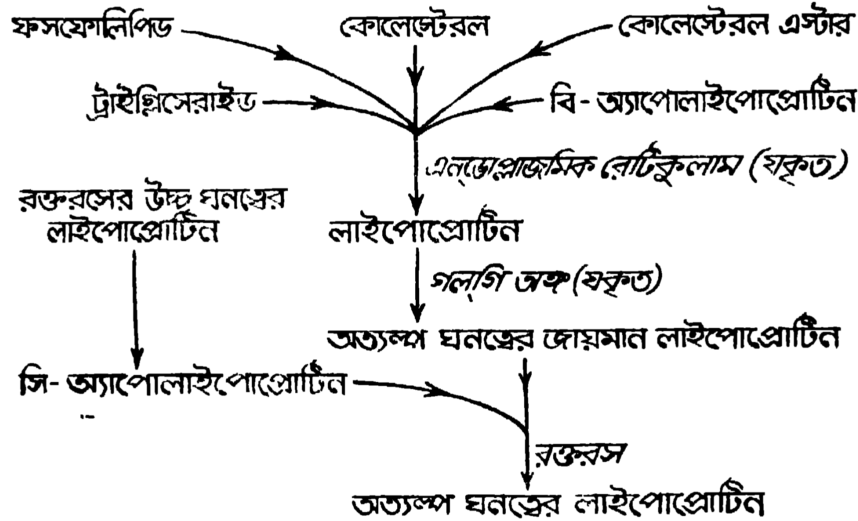
চর্বিবিশ্লেষের জন্য প্রয়োজনীয় লাইপেজ তিনটির মধ্যে একমাত্র হর্মোন-সেন্‌সিটিভ ট্রাইগ্লিসেরাইড লাইপেজের ক্রিয়া বিভিন্ন হর্মোনের প্রভাবাধীন ; এই এনজাইমটিই মেদকলায় চর্বিবিশ্লেষের **গতিনিয়ন্ত্রক এনজাইম** (rate-limiting enzyme) রূপে কাজ করে। অ্যাড্রেন্যালিন, নর্‌-অ্যাড্রেন্যালিন, গ্লুকাগন, গ্লুকোকর্টিকয়েড হর্মোনগুলি এবং গ্রোথ হর্মোন বিভিন্ন উপায়ে নিষ্ক্রিয় হর্মোন-সেন্‌সিটিভ লাইপেজকে সক্রিয় করিয়া তুলিয়া চর্বিবিশ্লেষ এবং রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের মাত্রা (blood FFA level) বর্ধিত করে। পক্ষান্তরে ইনসুলিন এবং প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিন সম্ভবতঃ উক্ত এনজাইমের সক্রিয় হইয়া ওঠায় বাধা দেয়, ফলে উহাদের প্রভাবে চর্বিবিশ্লেষ এবং রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের মাত্রা হ্রাস পায়।

18.3 লিপিড বিপাকে যকৃতের ভূমিকা

1. **ফ্যাটি অ্যাসিড ও ট্রাইগ্লিসেরাইড সংশ্লেষণ :** কার্বোহাইড্রেটের বিপাকজাত অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে যকৃত-কোষের সাইটোপ্লাজমে ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্‌থেটেজের ক্রিয়ায় দীর্ঘাণু (long-chain) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির সরাসরি (de novo) সংশ্লেষণ ঘটে। আবার যকৃত-কোষের মাইক্রোজোমে ম্যালোনিল-কো-এ (malonyl-CoA), এন-এ-ডি-পি-এইচ এবং নানা এনজাইমের সাহায্যে পূর্ব হইতেই বর্তমান ফ্যাটি অ্যাসিড অণুতে প্রতি পদে একটি C_2-বর্গ যোগ করিয়া দীর্ঘতর ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষিত হয়। মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় অ্যাসেটাইল-কো-এ, এন-এ-ডি-এইচ, এন-এ-ডি-পি-এইচ এবং নানা এনজাইমের সাহায্যে C_2-বর্গ যোগ করিয়া ফ্যাটি অ্যাসিড হইতে দীর্ঘতর ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপাদন করা যায়। তাহা ছাড়া মাইক্রোজোমে ডিস্যাচুরেজ (desaturase) এনজাইমগুলির সাহায্যে সংপৃক্ত (saturated) ফ্যাটি অ্যাসিডকে অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডে পরিণত করা যায় ; অবশ্য যকৃতে সকল প্রকার বহু-অসংপৃক্ত (polyunsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণ সম্ভব নয়, ফলে এজাতীয় কয়েকটি ফ্যাটি অ্যাসিড খাদ্যে অপরিহার্য (essential polyunsaturated fatty acids)।

যকৃত-কোষগুলি রক্ত হইতে গ্লিসেরল ও মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডগুলিকে সংগ্রহ করিয়া লয়। তাহা ছাড়া রক্তরসের কাইলোমাইক্রন ও অন্যান্য লাইপোপ্রোটিন অণুর অবশেষ হইতেও যকৃত-কোষগুলি ফ্যাটি অ্যাসিড সংগ্রহ করে। সংগৃহীত ফ্যাটি অ্যাসিড ও গ্লিসেরলের সাহায্যে যকৃত-কোষে প্রধানতঃ মাইক্রোজোমের এনজাইমগুলির ক্রিয়ায় ট্রাইগ্লিসেরাইড ফ্যাট সংশ্লেষিত হয়।

2. **ফসফোলিপিড ও লাইপোপ্রোটিন সংশ্লেষণ :** যকৃত-কোষের মাইক্রোজোমের এনজাইমগুলির সাহায্যে ফ্যাটি অ্যাসিড, কোলিন, অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেট প্রভৃতির মিলনে ফসফোলিপিড উৎপন্ন হয় ; কোলিন এবং অপরিহার্য বহু-অসংপৃক্ত (essential polyunsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি অনেক ফসফোলিপিড অণুরই অপরিহার্য অংশ, ফলে উহাদের অভাবে যকৃতে ফসফোলিপিডের সংশ্লেষণ ব্যাহত হয়। দানাদার (rough or granular) এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলামে সংশ্লেষিত বি-অ্যাপোলাইপোপ্রোটিনের সহিত ফসফোলিপিড, কোলেস্টেরল, কোলেস্টেরল এস্টার এবং ট্রাইগ্লিসেরাইডকে যুক্ত করিয়া দানাবিহীন (smooth or agranular) এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলামে লাইপোপ্রোটিন সংশ্লেষিত হয়। গল্‌গি অঙ্গে উক্ত লাইপোপ্রোটিনকে আরও



চিত্র 18.4. অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন সংশ্লেষণ।

সংহত করিয়া এবং তাহাতে হেক্সোজঅ্যামাইন যোগ করিয়া অত্যল্প ঘনত্বের জায়মান লাইপোপ্রোটিন (nascent VLDL) উৎপাদন করা হয় (চিত্র 18.4)। শেষোক্ত বস্তুর অণুগুলি যকৃত-কোষ হইতে রক্তরসে প্রবেশের অব্যবহিত পরে সেগুলিতে রক্তরসের উচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (HDL) হইতে সি-অ্যাপো-লাইপোপ্রোটিন আসিয়া যুক্ত হয় ; ফলে জায়মান লাইপোপ্রোটিন অণুগুলি অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনে (VLDL) সুপরিণত হয়। শেষোক্ত আকারেই অধিকাংশ ট্রাইগ্লিসেরাইড যকৃত হইতে মেদকলা, স্তন প্রভৃতি যকৃতেতর (extra-hepatic) কলায় স্থানান্তরিত হয় (**চর্বি-স্থানান্তরণ**, fat mobilisation)। কোনও কারণে যকৃতে অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনের উৎপাদন ব্যাহত হইলে অতিরিক্ত চর্বি জমিয়া যকৃত চর্বিভারাক্রান্ত (fatty) হইয়া পড়ে।

যকৃত-কোষগুলিতে সি- এবং এ-অ্যাপোলাইপোপ্রোটিনগুলির সহিত প্রধানতঃ ফসফোলিপিড, কোলেস্টেরল ও তাহার এস্টার এবং অল্প ট্রাইগ্লিসেরাইড যুক্ত করিয়া উচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (HDL) সংশ্লেষণ করা হয় এবং তাহাও রক্তে বাহিত হইতে থাকে।

কোনও কারণে যকৃতে অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনের উৎপাদন ব্যাহত হইলে অথবা অন্ত্র বা মেদকলা হইতে অত্যধিক ট্রাইগ্লিসেরাইড ও মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড যকৃতে পৌঁছিলে অতিরিক্ত চর্বি জমিয়া যকৃত ক্ষতিগ্রস্ত হয়; এরূপ যকৃতকে **চর্বিভারাক্রান্ত যকৃত** (fatty liver) বলে। কোলিন ও অপরিহার্য বহু-অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি অনেক ফসফোলিপিড অণুর অত্যাবশ্যক অংশ; আবার মেথিওনিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডের মিথাইল বর্গ কোলিন সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয় (19.16 প্রসঙ্গ ও চিত্র 19.23 দ্রষ্টব্য)। অতএব কোলিন, মেথিওনিন ও অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডের অভাবে ফসফোলিপিড ও লাইপোপ্রোটিনের সংশ্লেষণ হ্রাস পায়, ফলে যকৃত চর্বিভারাক্রান্ত হইয়া পড়ে। তাহা ছাড়া কোলিন ও মেথিওনিনের অভাবে কার্নিটিনের উৎপাদন কমিয়া যকৃতে ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির জারণ হ্রাস পায় এবং তাহারা জারণের পরিবর্তে ট্রাইগ্লিসেরাইডে পরিণত হইয়া যকৃতে জমিতে থাকে। অত্যধিক কোলেস্টেরল খাইলে দেহে অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি কোলেস্টেরলের অণুগুলিতে এস্টারের আকারে আবদ্ধ হইয়া যায়; ফলে ফসফোলিপিড উৎপাদনের কার্যে ঐ জাতীয় ফ্যাটি অ্যাসিডের অভাব ঘটিয়া লাইপোপ্রোটিন সংশ্লেষণ কমিয়া যায় ও যকৃত চর্বিভারাক্রান্ত হয়। অন্যদিকে কোলিন, মেথিওনিন, আইনোসিটল, বিটেইন, অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড প্রভৃতি খাইলে ফসফোলিপিড ও লাইপোপ্রোটিনের সংশ্লেষণ বাড়িয়া যকৃত হইতে চর্বি অপসারিত হয়; এজন্য ঐ সকল বস্তুকে **চর্বিসঞ্চালক বস্তু** (lipotropic substances) বলে। কার্বন টেট্রাক্লোরাইডের বিষক্রিয়ার ফলে এবং পিউরোমাইসিন নামক অ্যাণ্টিবায়োটিক সেবনেও যকৃত চর্বিভারাক্রান্ত হইতে পারে, কারণ এসকল বস্তু যকৃতে বি-অ্যাপোলাইপোপ্রোটিনের সংশ্লেষণে ব্যাঘাত ঘটাইয়া অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনের উৎপাদন কমাইয়া দেয়। ইঁদুরকে অত্যধিক নিকোটিনঅ্যামাইড সেবন করাইলে উহার নির্বিষকরণে (detoxication) মেথিওনিনের মিথাইল বর্গের অপচয় ঘটিয়া দেহে কোলিনের সংশ্লেষণ হ্রাস পায়; ফলে লাইপোপ্রোটিনের উৎপাদন কমিয়া যকৃত চর্বিভারাক্রান্ত হয়।

খাদ্যে কার্বোহাইড্রেটের অভাব ঘটিলে অথবা মধুমেহ (diabetes mellitus) হইলে শক্তি উৎপাদনের জন্য মেদকলা হইতে অত্যধিক পরিমাণে ফ্যাটি অ্যাসিড

যকৃতে আনীত হয়, ফলে যকৃতে ট্রাইগ্লিসেরাইডের উৎপাদন বাড়িয়া চর্বি জমিতে পারে। ইনসুলিন দিলে মধুমেহ রোগীর যকৃতে চর্বি কমিয়া যায়। পক্ষান্তরে অত্যধিক মদ্যপানে ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ কমিয়া তাহা হইতে ট্রাইগ্লিসেরাইডের সংশ্লেষণ বাড়ে, ফলে যকৃত চর্বিভারাক্রান্ত হইতে পারে।

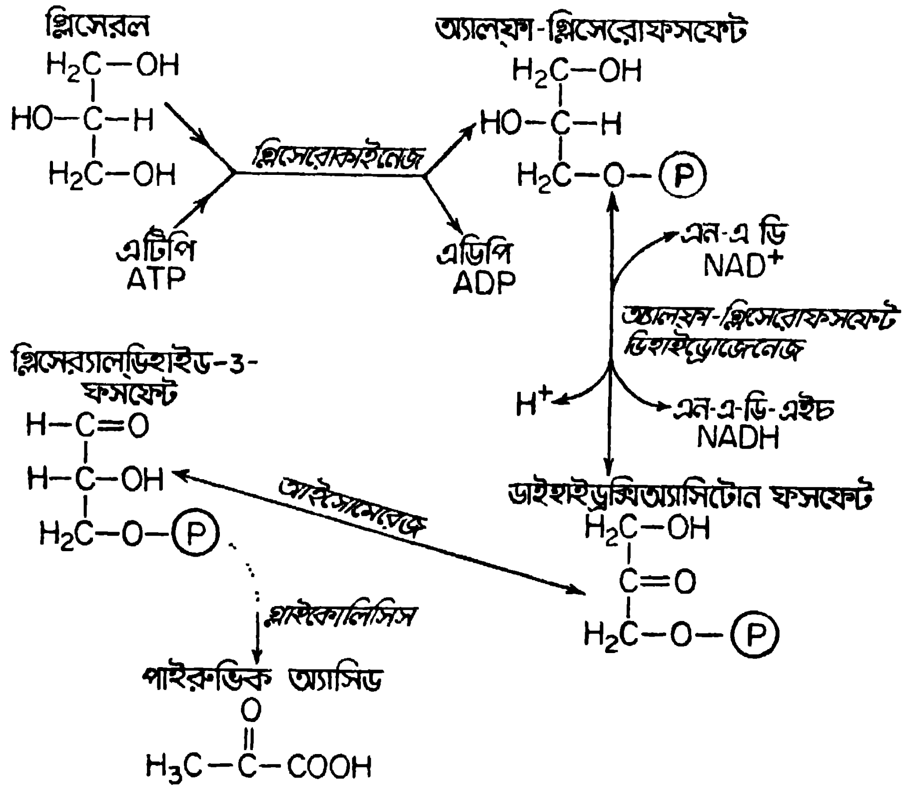
3. **কোলেস্টেরলের সংশ্লেষণ ও বিপাক :** যকৃত-কোষে অ্যাসেটাইল-কো-এ এবং অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে কোলেস্টেরল সংশ্লেষিত হয়। যকৃতই কোলেস্টেরলের প্রধান উৎপাদন কেন্দ্র। যকৃতে কিছু কোলেস্টেরল অণুতে ফ্যাটি অ্যাসিড যুক্ত হইয়া কোলেস্টেরল এস্টার উৎপন্ন হয়। মুক্ত ও এস্টারে আবদ্ধ, উভয় প্রকার কোলেস্টেরলের অণুকেই যকৃত অত্যল্প ঘনত্বের ও উচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনে (VLDL, HDL) যুক্ত করিয়া রক্তে ছাড়িয়া দেয়। যকৃত-কোষে কোলেস্টেরল হইতে কোলিক অ্যাসিড এবং তাহা হইতে বিভিন্ন পিত্তলবণ (bile salts) সংশ্লেষিত হইয়া পিত্তে ক্ষরিত হয়। আবার যকৃতই কোলেস্টেরলের মুখ্য রেচনাঙ্গ (excretory organ)—রক্তের কাইলো-মাইক্রন ও অন্যান্য লাইপোপ্রোটিন হইতে কোলেস্টেরল সংগ্রহ করিয়া যকৃত তাহার অনেকখানিকেই পিত্তে ক্ষরণ করে।

4. **ট্রাইগ্লিসেরাইডের জারণ ও কিটোনবর্গীয় পদার্থের উৎপাদন :** ট্রাই-গ্লিসেরাইডের গ্লিসেরল ও ফ্যাটি অ্যাসিড, উভয় অংশই যকৃতে জারিত হইতে পারে। গ্লিসেরল প্রথমে অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেট পদের মাধ্যমে গ্লিসের‍্যাল্-ডিহাইড-3-ফসফেটে পরিবর্তিত হয় এবং তাহা গ্লাইকোলিসিস ও সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে জারিত হইয়া যায়। ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি প্রধানতঃ বিটা-জারণের (beta oxidation) মাধ্যমে অ্যাসেটাইল-কো-এ এবং কিটোনবর্গীয় পদার্থে (ketone bodies) পরিণত হয় (18.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। অ্যাসেটাইল-কো-এ সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে জারিত হয়। কিন্তু কিটোনবর্গীয় পদার্থগুলি যকৃতে জারিত না হইয়া রক্তে প্রবেশ করে।

18.4 ফ্যাটের জারণ

মেদকলায় চর্বিবিশ্লেষের (lipolysis) ফলে ট্রাইগ্লিসেরাইড হইতে গ্লিসেরল ও মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন হয় (18.2 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। কিন্তু মেদকলায় গ্লিসেরোকাইনেজের অভাব থাকায় গ্লিসেরল সেখানে জারিত হইতে না পারিয়া রক্তরসে আসে এবং যকৃতে গিয়া জারিত হয়। অন্যদিকে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড-গুলি কিছু পরিমাণে মেদকলায় এবং অবশিষ্ট যকৃত, হৃৎপেশী, বৃক্ক প্রভৃতির কোষে জারিত হইয়া থাকে।

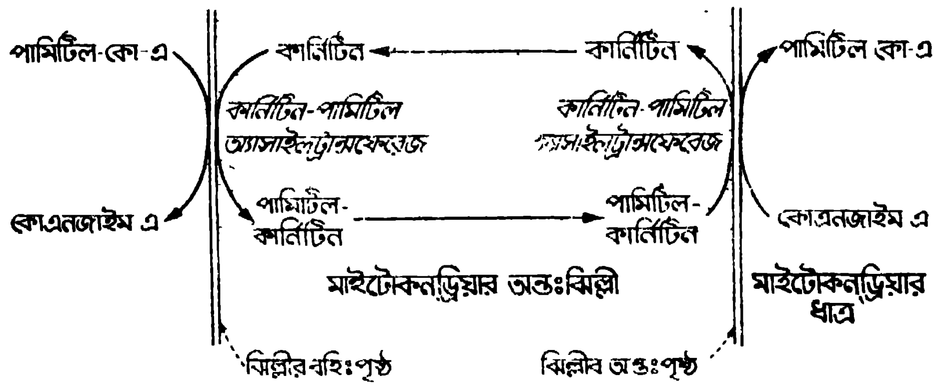
1. গ্লিসেরলের জারণ : যকৃতে গ্লিসেরোকাইনেজের প্রভাবে এটিপি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া গ্লিসেরল অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেটে পরিণত হয় এবং তাহা এন-এ-ডি (NAD^+) ও অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের সাহায্যে জারিত হইয়া ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট এবং গ্লিসের‍্যালডিহাইড-3-ফসফেটে পরিবর্তিত হয় (চিত্র 18.5)। শেষোক্ত দুই বস্তু গ্লাইকোলিসিসের মাধ্যমে পাইরুভিক ও ল্যাক্টিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।



চিত্র 18.5. গ্লিসেরলের জারণ।

2. ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণ : দেহে ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি মুখ্যতঃ যুগ্ম-কার্বন অ্যাসিড (even-C acids)। ইহাদের জারণ প্রধানতঃ মেদকলা, যকৃত, হৃৎপেশী, বৃক্ক প্রভৃতির মাইটোকন্ড্রিয়ার তরল ধারে (matrix) বিটা-জারণ (beta oxidation) প্রক্রিয়ায় ঘটিয়া থাকে। মূলতঃ ক্নুপ (Knoop) কর্তৃক প্রস্তাবিত বিটা-জারণবাদের (beta oxidation theory) সংশোধিত ও সম্প্রসারিত রূপই বিটা-জারণের পদ্ধতিরূপে গৃহীত হইয়াছে। অবশ্য বিটা-জারণের পূর্বে ফ্যাটি অ্যাসিড অণুকে কোএনজাইম এ অণুর সহিত যুক্ত করিয়া তাহাকে সক্রিয় (active) ফ্যাটি অ্যাসিড যৌগের আকারে মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতরে স্থানান্তরিত করিতে হয়।

(a) সক্রিয় ফ্যাটি অ্যাসিডের উৎপাদন : ক্ষুদ্রাণু (short chain) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি কোনও বাহকের (transporter) সাহায্য ছাড়াই মাইটোকন্ড্রিয়ার উভয় ঝিল্লী পার হইয়া উহার তরল ধাত্রে প্রবেশ করিতে পারে এবং সেখানে অণুর দৈর্ঘ্য অনুযায়ী মিডিয়াম-চেন ফ্যাটি অ্যাসিড থায়োকাইনেজ অথবা অ্যাসিটেট থায়োকাইনেজের প্রভাবে কোএনজাইম এ অণুর সহিত মিলিয়া অ্যাসাইল-কো-এ (acyl-CoA) নামক সক্রিয় ফ্যাটি অ্যাসিড যৌগ উৎপাদন করে ; এই বিক্রিয়ার সময়ে এটিপি (ATP) ভাঙ্গিয়া এ-এম-পি (AMP), অজৈব পাইরোফসফেট ও প্রভূত শক্তি উৎপন্ন হয় এবং ঐ শক্তিই অ্যাসাইল-কো-এ উৎপাদনে ব্যবহৃত হয় (চিত্র 18.7)। কিন্তু দীর্ঘাণু (long-chain) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি সরাসরি মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃঝিল্লী (inner membrane) পার হইতে পারে না। মাইটোকন্ড্রিয়ার বহিঃঝিল্লীর (outer membrane)



চিত্র 18.6. কার্নিটিনের সাহায্যে ফ্যাটি অ্যাসিডের মাইটোকনড্রিয়ার অন্তঃঝিল্লী অতিক্রম করিবার পদ্ধতি।

গাত্রে লং-চেন ফ্যাটি অ্যাসিড থায়োকাইনেজের প্রভাবে দীর্ঘাণু ফ্যাটি অ্যাসিড (যথা, পামিটিক অ্যাসিড), কোএনজাইম এ এবং এটিপি-র মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে অ্যাসাইল-কো-এ, এ-এম-পি ও অজৈব পাইরোফসফেটের উৎপত্তি ঘটে। অতঃপর উক্ত অ্যাসাইল-কো-এ অণুর অ্যাসাইল বর্গটি (যথা, পামিটিল-কো-এ অণুর পামিটিল বর্গ) কার্নিটিনের দ্বারা বাহিত হইয়া মাইটোকন্ড্রিয়ার দুর্ভেদ্য অন্তঃঝিল্লীটি অতিক্রম করে।

(b) কার্নিটিনের সাহায্যে ঝিল্লী উত্তরণ : মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃ-ঝিল্লীর বহিঃপৃষ্ঠে কার্নিটিন-পামিটিল অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে ঝিল্লী-গাত্রের কার্নিটিন এবং দীর্ঘাণু অ্যাসাইল-কো-এ অণুর মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া কো-এনজাইম এ মুক্ত হইয়া যায় এবং ঝিল্লীগাত্রে অ্যাসাইল-কার্নিটিন (acyl-carnitine) উৎপন্ন হয় (চিত্র 18.6)। শেষোক্ত বস্তুটি অন্তঃঝিল্লীর মধ্য দিয়া

উহার ভিতরপৃষ্ঠে পৌঁছিলে পূর্বোক্ত এনজাইমটিরই প্রভাবে কোএনজাইম এ ও অ্যাসাইল-কার্নিটিনের (যথা, পামিটিল-কার্নিটিন) মধ্যে বিক্রিয়া ঘটে, ফলে অ্যাসাইল-কো-এ উৎপন্ন হইয়া মাইটোকন্ড্রিয়ার ধাত্রে প্রবেশ করে এবং কার্নিটিন অন্তঃঝিল্লীর গাত্রেই রহিয়া যায়। অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর অ্যাসেটাইল বর্গও কার্নিটিন-অ্যাসেটাইল অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজ নামক অন্য একটি এনজাইমের প্রভাবে অ্যাসেটাইল-কার্নিটিন উৎপাদনের মাধ্যমে অনুরূপভাবে মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃঝিল্লী পার হইতে পারে ; তবে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর মাইটোকন্ড্রিয়ার ঝিল্লী পার হওয়ার বিষয়ে শেষোক্ত এনজাইমের ও কার্নিটিনের ভূমিকার গুরুত্ব আছে কিনা, তাহা সুনিশ্চিত নয়।

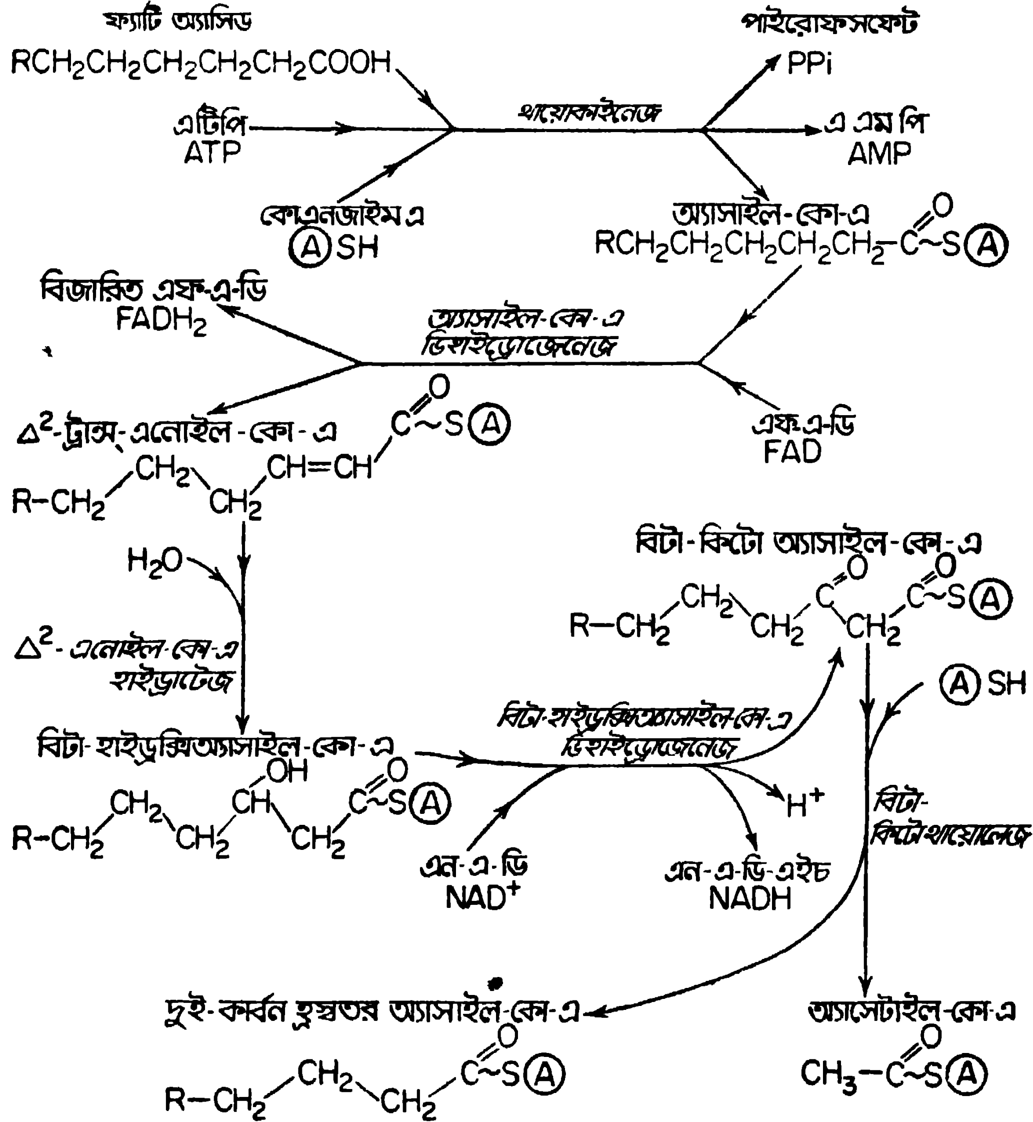
(c) **সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণ :** মাইটোকন্ড্রিয়ার ধাত্রে অ্যাসাইল-কো-এ ডিহাইড্রোজেনেজ নামক ফ্ল্যাভোপ্রোটিন এনজাইমটির ক্রিয়ায় অ্যাসাইল-কো-এ অণুর অ্যাল্‌ফা ও বিটা কার্বন হইতে একটি করিয়া হাইড্রোজেন পরমাণু অপসারিত হইলে অ্যাসাইল-কো-এ জারিত হইয়া Δ^2-ট্রান্স-এনোইল-কো-এ* (ট্রান্স-অ্যালফা-বিটা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-কো-এ) দান করে এবং ঐ হাইড্রোজেন পরমাণুদ্বয় এনজাইমের এফ-এ-ডি নামক ফ্ল্যাভিন-ঘটিত প্রস্থেটিক বর্গে গৃহীত হওয়ায় বিজারিত এফ-এ-ডি ($FADH_2$) উৎপন্ন হয় (চিত্র 18.7)। এই বিজারিত এফ-এ-ডি হইতে মাইটোকন্ড্রিয়ার শ্বসন-সহায়ক এনজাইমগুলির সাহায্যে হাইড্রোজেন পরমাণুদ্বয় আণব অক্সিজেনে (molecular O_2) গিয়া যুক্ত হইলে জল, এফ-এ-ডি এবং শক্তি উৎপন্ন হয়—সেই শক্তির সাহায্যে অবিলম্বে দুইটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনীর সৃষ্টি হয়।

পূর্বোক্ত বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন Δ^2-ট্রান্স-এনোইল-কো-এ অণুতে Δ^2-এনোইল-কো-এ হাইড্রাটেজের প্রভাবে জলের একটি অণু এভাবে যুক্ত হয় যে জলের হাইড্রোজেন ও হাইড্রক্সিল বর্গ যথাক্রমে অ্যালফা ও বিটা কার্বনে সংযোজিত হইয়া Δ^2-ট্রান্স-এনোইল-কো-এ হইতে বিটা-হাইড্রক্সিঅ্যাসাইল-কো-এ উৎপন্ন হয়। অতঃপর শেষোক্ত বস্তুর বিটা-কার্বন হইতে উভয় হাইড্রোজেন পরমাণু বিটা-হাইড্রক্সিঅ্যাসাইল-কো-এ ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায়

---

* বিশেষ দ্রষ্টব্য : ফ্যাটি অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গের কার্বনটি C^1 রূপে, তাহার পরবর্তী কার্বনটি C^2 বা অ্যালফা-কার্বনরূপে এবং তাহারও পরের কার্বনটি C^3 বা বিটা-কার্বনরূপে কথিত হয়। Δ^2 বলিলে C^2 ও C^3 অর্থাৎ অ্যালফা ও বিটা কার্বনের মধ্যে দ্বি-বন্ধনীর (double bond) অস্তিত্ব বুঝায়। দ্বি-বন্ধনীর দ্বারা আবদ্ধ কার্বন-দুইটির সহিত যুক্ত দুইটি কার্বন-শৃঙ্খল (carbon chains) দ্বি-বন্ধনীর অক্ষের বিপরীত পার্শ্বে বিন্যস্ত থাকিলে এরূপ বিন্যাসকে ট্রান্স (*trans*) বলা হয় এবং এক্ষেত্রে ফ্যাটি অ্যাসিডের সম্পূর্ণ কার্বন-শৃঙ্খলটিতে দ্বি-বন্ধনীর কাছে বিশেষ কোনও ভাঁজ বা বক্রতা থাকে না।

এন-এ-ডি (NAD^+) অণুতে স্থানান্তরিত হইলে যথাক্রমে বিটা-কিটোঅ্যাসাইল-কো-এ এবং বিজারিত এন-এ-ডি (NADH) উৎপন্ন হয়। মাইটোকন্‌ড্রিয়ার শ্বসন-সহায়ক এনজাইমগুলির সাহায্যে উক্ত বিজারিত এন-এ-ডি পুনর্বার জারিত হওয়ার সময়ে যে শক্তির উৎপত্তি ঘটে, তাহার সাহায্যে দেহে তিনটি



চিত্র 18.7. সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণ।

উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী সৃষ্ট হয়। অন্যদিকে বিটা-কিটোথায়োলেজের প্রভাবে বিটা-কিটোঅ্যাসাইল-কো-এ এবং কোএনজাইম এ অণুর মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ এবং দুই-কার্বন হ্রস্বতর অ্যাসাইল-কো-এ অণুর উদ্ভব ঘটে। শেষোক্ত অ্যাসাইল-কো-এ অণুটি পুনর্বার পূর্বানুরূপ বিটা-জারণের পদ-গুলির মাধ্যমে জারিত হয়। বারবার বিটা-জারণের ফলে প্রত্যেকবার ফ্যাটি

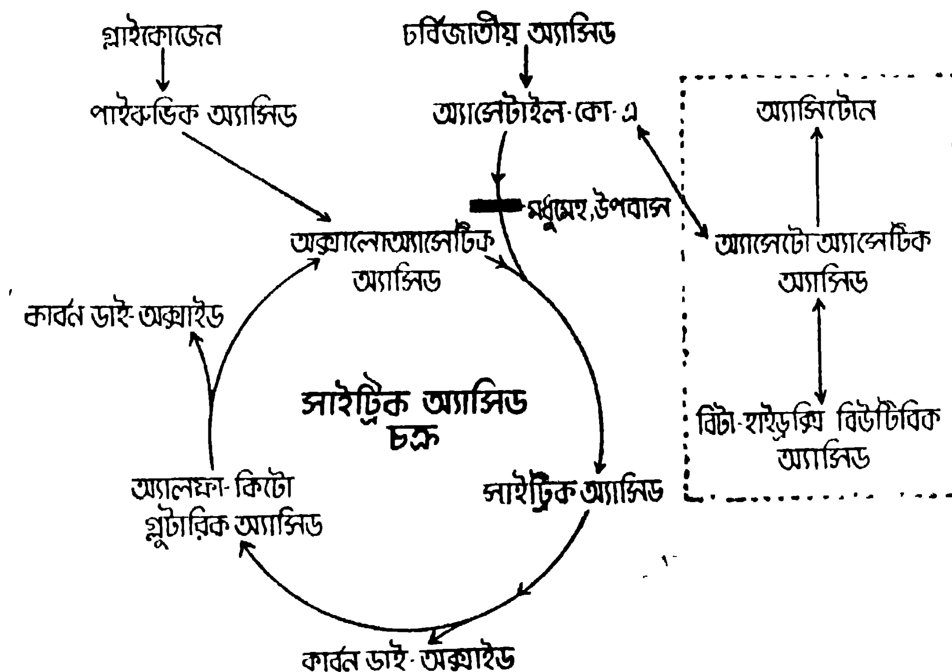
অ্যাসিডের কার্বক্সিল-প্রান্ত হইতে একটি দুই-কার্বন খণ্ড (C_2 fragment) অ্যাসেটাইল-কো-এ আকারে বাহির হইয়া গিয়া অ্যাসাইল-কো-এ অণুটি ক্ষুদ্র হইতে ক্ষুদ্রতর হইতে থাকে এবং পরিণামে যুগ্ম-কার্বন (even-C) ফ্যাটি অ্যাসিডের সম্পূর্ণ অণুটি বহু অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুতে পরিণত হয় ; এভাবে উৎপন্ন প্রত্যেকটি অ্যাসেটাইল-কো-এ অণু সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে সম্পূর্ণ জারিত হইয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড ও জলে পরিণত হয় এবং **বারোটি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনীর** উৎপত্তি ঘটায় (17.10 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। দৃষ্টান্তস্বরূপ, স্টিয়ারিক অ্যাসিড (C_{18}) অণু আটবার বিটা-জারণের পদগুলির পুনরাবৃত্তির মাধ্যমে মোট নয় অণু অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন করে ; প্রত্যেকবার বিটা-জারণের ফলে পাঁচটি করিয়া এবং প্রত্যেক অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে জারণে বারোটি করিয়া উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী সৃষ্ট হয় (সারণী 18.3) ; ফলে এক অণু স্টিয়ারেটের সম্পূর্ণ জারণে $8 \times 5 + 9 \times 12 =$ 148টি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী উৎপন্ন হয়।

সারণী 18.3. ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণে উচ্চশক্তি ফসফেটের উৎপাদন।

বিক্রিয়া	এনজাইম	উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী
1. প্রত্যেক বিটা-জারণে :		
অ্যাসাইল-কো-এ → ট্রান্স-এনোইল-কো-এ	অ্যাসাইল-কো-এ ডিহাইড্রোজেনেজ	2
বিটা-হাইড্রক্সিঅ্যাসাইল-কো-এ → বিটা-কিটোঅ্যাসাইল-কো-এ	বিটা-হাইড্রক্সিঅ্যাসাইল-কো-এ ডিহাইড্রোজেনেজ	3
2. সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে প্রত্যেক অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর জারণে		12

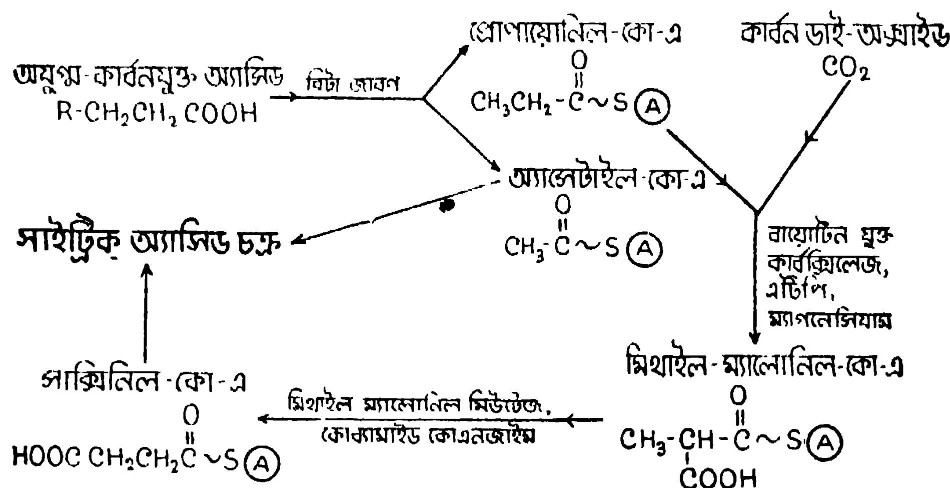
উপবাসকালে অথবা মধুমেহ (diabetes mellitus) রোগে কার্বোহাইড্রেটের বিপাক কমিয়া যাওয়ায় শক্তি উৎপাদনের জন্য ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণ বৃদ্ধি পায়, কিন্তু ঐসকল অবস্থায় সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের বিক্রিয়াগুলি ব্যাহত হওয়ায় বিটা-জারণের ফলে উৎপন্ন অ্যাসেটাইল-কো-এ উক্ত চক্রের মাধ্যমে সম্পূর্ণ জারিত হইতে পারে না। ফলে দুইটি করিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর পরস্পর বিক্রিয়ার দ্বারা অ্যাসেটোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড, বিটা-হাইড্রক্সিবিউটিরিক অ্যাসিড এবং অ্যাসিটোন নামক কিটোনবর্গীয় বস্তুগুলির (ketone bodies) উদ্ভব ঘটে (চিত্র 18.8)।

অযুগ্ম-কার্বন (odd-C) ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণের ফলে প্রতিবার একটি করিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ অণু বিচ্ছিন্ন হইতে হইতে সর্বশেষে এক



চিত্র 18.8. চর্বিজাতীয় বা ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণে কিটোনবর্গীয় পদার্থের উৎপাদন।

অণু প্রোপায়োনিল-কো-এ অবশিষ্ট থাকে। শেষোক্ত বস্তুটি গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেটে রূপান্তরিত হয় অথবা সাইট্রিক অ্যাসিড

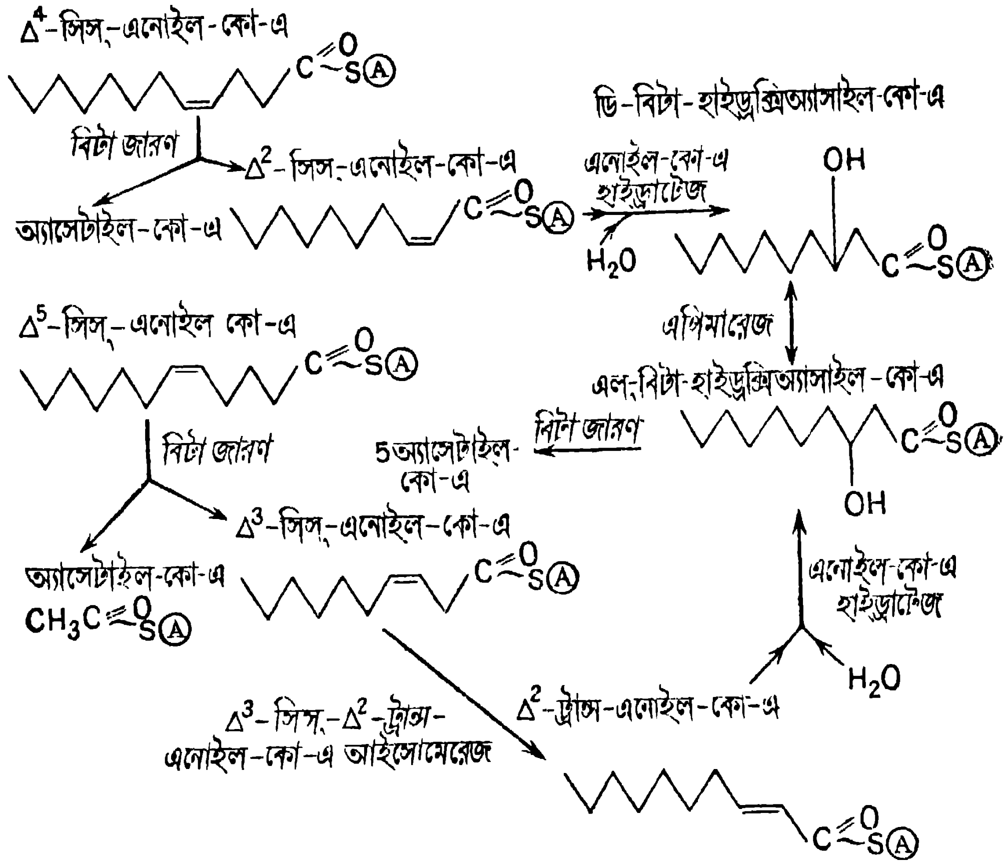


চিত্র 18.9. অযুগ্ম-কার্বন ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ।

চক্রের মাধ্যমে সম্পূর্ণ জারিত হইয়া আরও শক্তি উৎপাদন করে (17.18 প্রসঙ্গ এবং চিত্র 17.27 ও 18.9 দ্রষ্টব্য)।

(d) অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণ : সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের

মত অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডগুলিও প্রথমে সাইটোপ্লাজমে অ্যাসাইল-কো-এ অণুতে পরিণত হইয়া মাইটোকন্‌ড্রিয়ার মধ্যে বাহিত হয়। তাহার পরে সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের মতই অসংপৃক্ত অ্যাসিডটিরও বিটা-জারণ ঘটিয়া প্রতি পদে একটি অ্যাসেটাইল-কো-এ অণু বিচ্ছিন্ন হইয়া যাইতে থাকে। এভাবে চলিতে চলিতে অ্যাসিডটির কোনও দ্বি-বন্ধনীর নিকটে পৌঁছিলে হয় Δ^2-সিস্-এনোইল-কো-এ* (সিস্-অ্যালফা-বিটা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-কো-এ)



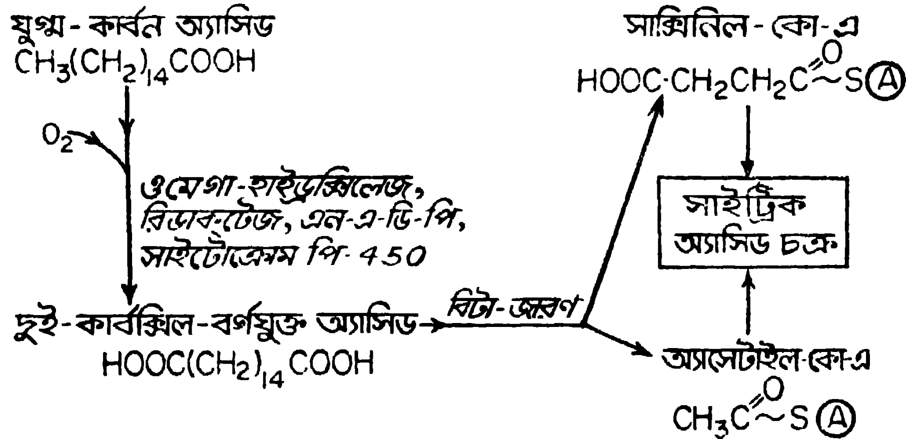
চিত্র 18.10. অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ।।

না হয় Δ^3-সিস্-এনোইল-কো-এ (সিস্-বিটা-গামা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-কো-এ) উৎপন্ন হয়। Δ^2-সিস্-এনোইল-কো-এ উৎপন্ন হইয়া থাকিলে তাহাকে Δ^2-এনোইল-কো-এ হাইড্রাটেজের সাহায্যে জলযুক্ত (hydrated) করিয়া এবং ঐ বিক্রিয়াজাত বস্তুকে এপিমারেজের সাহায্যে পরিবর্তিত করিয়া উপযুক্ত বিন্যাসের বিটা-হাইড্রক্সিঅ্যাসাইল-কো-এ উৎপাদন করা হয় (18.10);

* বিশেষ দ্রষ্টব্য : দ্বি-বন্ধনীর দ্বারা আবদ্ধ কার্বন-দুইটির সহিত যুক্ত কার্বন-শৃঙ্খলদ্বয় দ্বি-বন্ধনীর অক্ষের একই পার্শ্বে বিন্যস্ত থাকিলে এরূপ বিন্যাসকে সিস্ (*cis*) বলা হয় এবং সেক্ষেত্রে ফ্যাটি অ্যাসিডের সম্পূর্ণ কার্বন-শৃঙ্খলটিতে দ্বি-বন্ধনীর কাছে বেশ ভাঁজ থাকে। অধিকাংশ ক্ষেত্রে স্বাভাবিক অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডে দ্বি-বন্ধনীগুলির কাছে সিস্-বিন্যাস ও তজ্জনিত ভাঁজ বর্তমান।

শেষোক্ত বস্তুটি বিটা-জারণের অন্তর্বর্তী পদে উৎপন্ন বিটা-হাইড্রক্সিঅ্যাসাইল-কো-এ হইতে অভিন্ন এবং বিটা-জারণের পরবর্তী পদগুলির মাধ্যমেই তাহার জারণ ঘটিয়া থাকে। কিন্তু বিটা-জারণ চলিতে চলিতে অ্যাসিডটি Δ^3-সিস্-এনোইল-কো-এ অণুতে পরিবর্তিত হইয়া থাকিলে Δ^3-সিস্-Δ^2-ট্রান্স-এনোইল-কো-এ আইসোমেরেজের সাহায্যে তাহার Δ^3-সিস্ দ্বি-বন্ধনীটিকে Δ^2-ট্রান্স দ্বি-বন্ধনীতে রূপান্তরিত করা হয়; ফলে Δ^2-ট্রান্স-এনোইল-কো-এ উৎপন্ন হয় এবং Δ^2-এনোইল-কো-এ হাইড্রাটেজের সাহায্যে তাহাকে জলযুক্ত করিয়া আবার বিটা-জারণের পদগুলি শুরু করা হয় (চিত্র 18.9)।

(e) ফ্যাটি অ্যাসিডের ওমেগা-জারণ : অল্পস্বল্প যুগ্ম-কার্বন ফ্যাটি অ্যাসিড যকৃতে ওমেগা-হাইড্রক্সিলেজ, রিডাক্টেজ, সাইটোক্রোম পি-450,



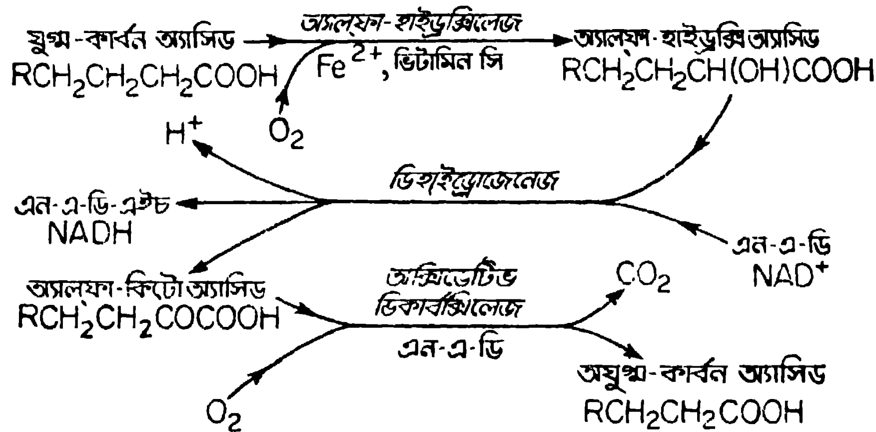
চিত্র 18.11. ফ্যাটি অ্যাসিডের ওমেগা-জারণ।

এন-এ-ডি-পি ($NADP^+$) প্রভৃতির সাহায্যে আণব (molecular) অক্সিজেনের দ্বারা জারিত হইলে মূল কার্বক্সিল বর্গের বিপরীত প্রান্তের মিথাইল বর্গটি দ্বিতীয় একটি কার্বক্সিল বর্গে পরিণত হয় (চিত্র 18.11)। এভাবে দেহে দুই-কার্বক্সিল-যুক্ত (dicarboxylic) অ্যাসিড সংশ্লেষিত হয়; এরূপ অ্যাসিডের বিটা-জারণ ঘটিলে প্রতি পদে একটি করিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ এবং সর্বশেষে এক অণু সাক্সিনিল-কো-এ উৎপন্ন হয়।

(f) ফ্যাটি অ্যাসিডের অ্যাল্‌ফা-জারণ : মস্তিষ্কে অ্যাল্‌ফা-হাইড্রক্সিলেজ, ফেরাস আয়ন, ভিটামিন সি প্রভৃতির সাহায্যে কিছু কিছু যুগ্ম-কার্বন অ্যাসিডের জারণের ফলে উহার অ্যাল্‌ফা-কার্বনে হাইড্রক্সিল বর্গ যুক্ত হয়; এভাবে সংশ্লেষিত অ্যাল্‌ফা-হাইড্রক্সি অ্যাসিড মস্তিষ্কের গ্লাইকোলিপিড ও সাল্‌ফাটিডে

সন্নিবেশিত হয় (চিত্র 18.12)। অ্যালফা-হাইড্রক্সি অ্যাসিডের জারণের ফলে উহার কেবল কার্বক্সিল বর্গটি কার্বন ডাই-অক্সাইডরূপে মুক্ত হইয়া গিয়া অযুগ্ম-কার্বন ফ্যাটি অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটিয়া থাকে।

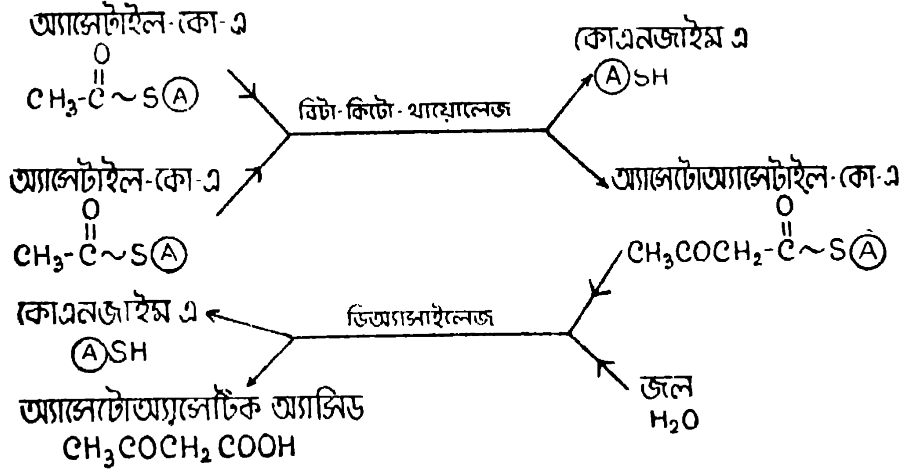
3. **কিটোনবর্গীয় পদার্থের উৎপাদন ও বিপাক :** কিটোনবর্গীয় পদার্থ (ketone bodies) বলিতে অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট, বিটা-হাইড্রক্সিবিউটিরেট ও অ্যাসিটোনকে বুঝায়। তন্মধ্যে প্রথমোক্তটি যকৃতে বিটা-জারণের সময়ে উৎপন্ন হইয়া অংশতঃ অন্য দুইটিতে পরিণত হয়। বিটা-জারণের ফলে উৎপন্ন অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুগুলি স্বাভাবিক অবস্থায় সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে সম্পূর্ণ জারিত হইয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড ও জলে পরিণত হয়। কিন্তু উপবাস, মধুমেহ রোগ প্রভৃতি অবস্থায় উক্ত চক্রের বিক্রিয়াগুলি হ্রাস পায়, অথচ কার্বো-হাইড্রেটের পরিবর্তে ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণের দ্বারা শক্তি উৎপাদন করিতে



চিত্র 18.12. ফ্যাটি অ্যাসিডের অ্যালফা-জারণ।

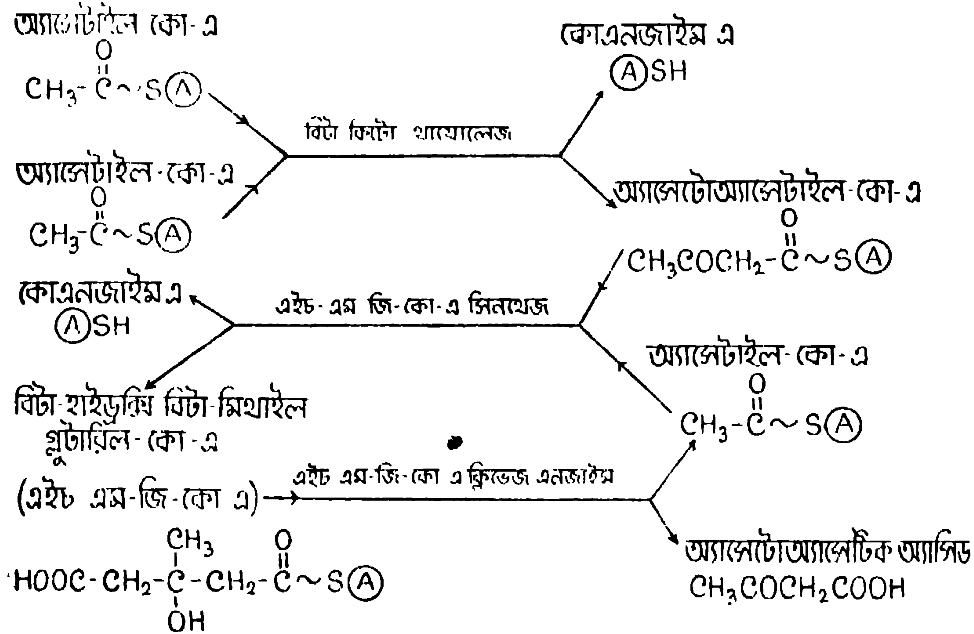
হয় বলিয়া বিটা-জারণ ও অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপাদন অনেক বাড়িয়া যায়। এইসকল অবস্থায় সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে জারিত হইতে না পারায় যকৃতে অ্যাসেটাইল-কো-এ জমিতে থাকে এবং দুইটি করিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ অণু বিটা-কিটোথায়োলেজের ক্রিয়ায় পরস্পর মিলিয়া এক অণু কোএনজাইম এ এবং এক অণু অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন করে (চিত্র 18.13)। শেষোক্ত বস্তুটি ডিঅ্যাসাইলেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইলে কোএনজাইম এ মুক্ত হইয়া যায় এবং অ্যাসেটোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। তাহা ছাড়া যুগ্ম-কার্বন ফ্যাটি অ্যাসিডের ক্রমাগত বিটা-জারণের ফলে সর্বশেষে বিউটিরিক অ্যাসিড নামক যে C_4-অ্যাসিডটি অবশিষ্ট থাকে, তাহার বিটা-জারণে অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন হয়। যকৃতে অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ এবং অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে একদিকে যেমন

বিটা-হাইড্রক্সি-বিটা-মিথাইলগ্লুটারিল-কো-এ (HMG-CoA) সংশ্লেষিত হয় অপরদিকে তেমনি মাইটোকন্ড্রিয়ায় শেষোক্ত বস্তুটি এইচএমজি-কো-এ



চিত্র 18.13. অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে অ্যাসেটোঅ্যাসিটেটের উৎপাদন।

ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ভাঙ্গিয়া উল্লেখযোগ্য পরিমাণে অ্যাসেটো-অ্যাসিটেট এবং অ্যাসেটাইল-কো-এ দান করে (চিত্র 18.14)।

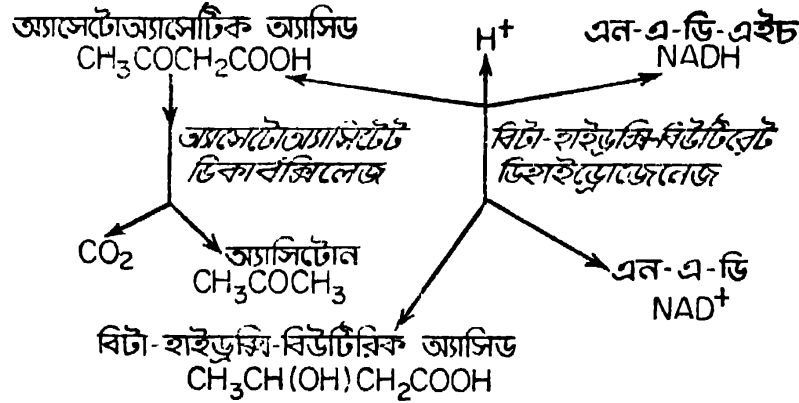


চিত্র 18.14. এইচএমজি-কো-এ হইতে অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট এবং অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে এইচএমজি-কো-এ উৎপাদন।

উপরি-উক্ত পদ্ধতিগুলিতে উৎপন্ন অ্যাসেটোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড অণুটি এন-এ-ডি-এইচ এবং বিটা-হাইড্রক্সিবিউটিরেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় বিজারিত হইলে বিটা-হাইড্রক্সিবিউটিরেট উৎপন্ন হয় (চিত্র 18.15)। অন্য-

দিকে অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট ডিকার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় অথবা আপনাআপনিই অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট হইতে কার্বন ডাই-অক্সাইড মুক্ত হইয়া গিয়া অ্যাসিটোনের উৎপত্তি ঘটে।

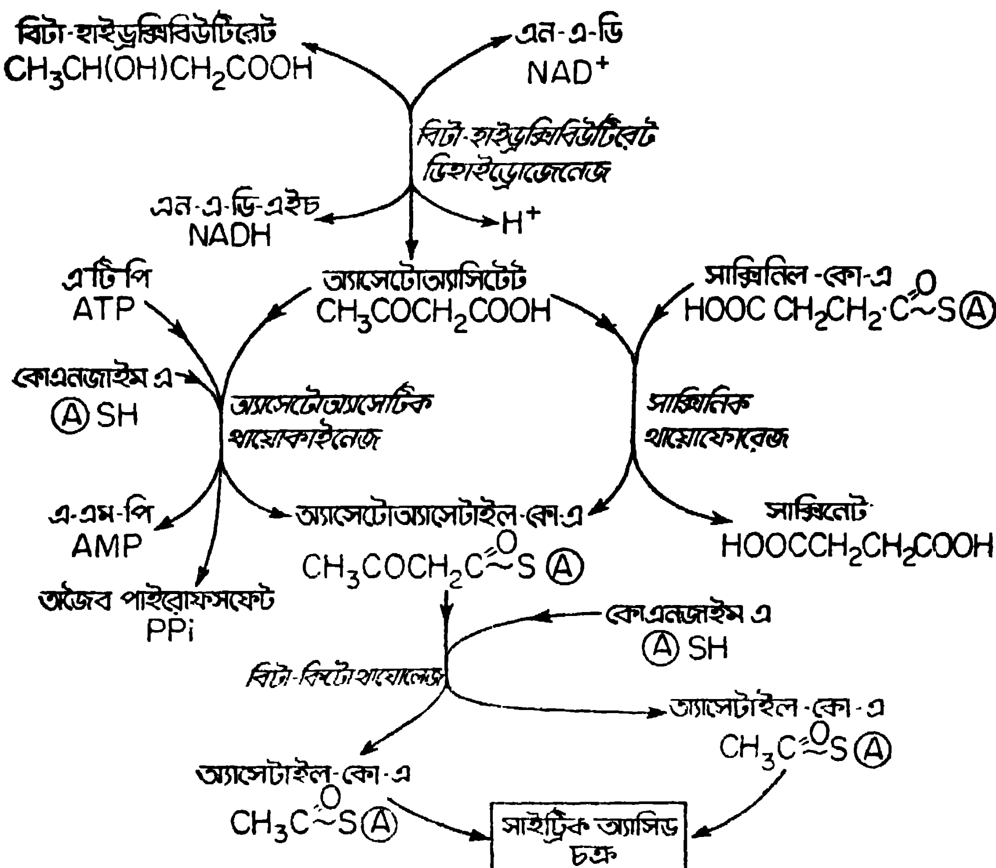
যকৃতে কিটোনবর্গীয় পদার্থের বিশেষ অপচিতি (catabolism) ঘটে না। অবশ্য এইচএমজি-কো-এ সিনথেজের ক্রিয়ায় কিছু অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ এবং অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া যকৃতে এইচএম-জি-কো-এ ও তাহা হইতে পরিণামে কিছু কোলেস্টেরল সংশ্লেষিত হইতে পারে (চিত্র 18.14)। কিন্তু অধিকাংশ কিটোনবর্গীয় পদার্থ যকৃত হইতে রক্তে বাহির হইয়া আসে—অবশ্য স্বাভাবিক মানুষের প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তে কিটোনবর্গীয় পদার্থের পরিমাণ মাত্র 0.5-0.8 মিলিগ্রাম, কারণ সরেখ (striated) পেশী, হৃৎপেশী প্রভৃতি যকৃতেতর (extrahepatic) কলা রক্ত হইতে ঐ বস্তুগুলিকে অপসারণ করিয়া তাহাদের জারণ ঘটায়।



চিত্র 18.15. বিভিন্ন কিটোনবর্গীয় পদার্থের পরস্পর পরিবর্তন।

কিটোনবর্গীয় পদার্থগুলির মধ্যে অ্যাসিটোন প্রধানতঃ নিঃশ্বাসে বাহির হইয়া যায়। অন্যদিকে যকৃতেতর কলাগুলিতে বিটা-হাইড্রক্সিবিউটিরেট অণু এন-এ-ডি (NAD^+) ও বিটা-হাইড্রক্সিবিউটিরেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় জারিত হইলে অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট পুনরুৎপন্ন হয় (চিত্র 18.16)। শেষোক্ত বস্তুটি অ্যাসেটোঅ্যাসেটিক থায়োকাইনেজের ক্রিয়ায় কোএনজাইম এ অণুর সহিত মিলিয়া অথবা সাক্সিনিক থায়োফোরেজের প্রভাবে সাক্সিনিল-কো-এ হইতে কোএনজাইম এ লাভ করিয়া অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপাদন করে। অতঃপর বিটা-কিটোথায়োলেজের প্রভাবে শেষোক্ত বস্তুটির সহিত কোএনজাইম এ অণুর বিক্রিয়ার ফলে দুই অণু অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন হয় এবং তাহারা সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে সম্পূর্ণ জারিত হয়।

মধুমেহ, উপবাস প্রভৃতি অবস্থায় যকৃতে কিটোনবর্গীয় পদার্থের উৎপাদন বহুগুণে বাড়িয়া যায় এবং পেশী, হৃৎপেশী প্রভৃতি কলা রক্ত হইতে সবটুকু কিটোনবর্গীয় পদার্থ অপসারণ করিতে না পারায় রক্তে ও মূত্রে উহাদের পরিমাণ বৃদ্ধি পায় ; দেহে কিটোনবর্গীয় পদার্থের এরূপ অস্বাভাবিক আধিক্যকে কিটোসিস্ বা কিটোনাধিক্য (ketosis) বলে। স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্কের



চিত্র 18.16. কিটোনবর্গীয় পদার্থের অপচিতি।

মূত্রে দিনে এক মিলিগ্রামের কম কিটোনবর্গীয় পদার্থ বাহির হয়, কিন্তু মধুমেহ রোগীর ক্ষেত্রে ইহার পরিমাণ 100 গ্রাম ছাড়াইতে পারে—এরূপ ক্ষেত্রে মূত্রে যথেষ্ট ধাতব ক্যাটায়ন (cation) অম্লধর্মী কিটোনবর্গীয় পদার্থগুলির সহিত যুক্ত অবস্থায় বাহির হইতে থাকে, ফলে দেহে ক্ষারধর্মী (basic) পদার্থের অভাব জন্মিয়া অম্লাধিক্য (acidosis) ও তজ্জনিত সংজ্ঞালোপ (coma) ঘটিতে পারে। উপবাসী মানুষের মূত্রে দিনে প্রায় 2-20 গ্রাম কিটোনবর্গীয় পদার্থ বাহির হইতে পারে—উপবাসকালে প্রাপ্তবয়স্কের তুলনায় শিশুর, পুরুষের তুলনায় নারীর এবং গরুছাগলের তুলনায় মানুষের তীব্রতর কিটোসিস্ ঘটিয়া থাকে।

18.5 দুই-কার্বন যৌগের বিপাক

দুই-কার্বন যৌগগুলি (C_2 compounds) দেহে প্রধানতঃ অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও অ্যাসেটাইল বর্গরূপেই উৎপন্ন ও বিপাচিত (metabolized) হয়। অবশ্য উচ্চশ্রেণীর প্রাণীর দেহে অ্যাসিটেট বা অ্যাসেটাইল বর্গ মুক্ত আকারের পরিবর্তে কোএনজাইম এ নামক প্যাণ্টোথেনেট যৌগের সহিত যুক্ত অবস্থায় অ্যাসেটাইল-কোএনজাইম এ (অ্যাসেটাইল-কো-এ, acetyl-CoA) আকারেই উৎপন্ন ও ব্যবহৃত হইয়া থাকে; সেজন্য অ্যাসেটাইল-কো-এ 'সক্রিয় অ্যাসিটেট' (active acetate) নামে অভিহিত হইয়াছে।

উৎস :

প্রধানতঃ নিম্নোক্ত প্রথম দুইটি পদ্ধতিতে এবং স্বল্পতর পরিমাণে অন্য পদ্ধতিগুলির মাধ্যমে দেহে দুই-কার্বন যৌগের উৎপত্তি ঘটে।

1. **কার্বোহাইড্রেটের বায়ব বিপাক :** গ্লাইকোলিসিসের ফলে কার্বোহাইড্রেট হইতে উৎপন্ন পাইরুভেট যকৃত, হৃৎপেশী, বৃক্ক প্রভৃতি কলার মাইটোকন্ড্রিয়ায় পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগের ক্রিয়ায় জারিত হইয়া, কার্বন ডাই-অক্সাইড হারাইয়া এবং কোএনজাইম এ অণুর সহিত মিলিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপাদন করে (17.10 প্রসঙ্গ এবং চিত্র 17.14 দ্রষ্টব্য)।

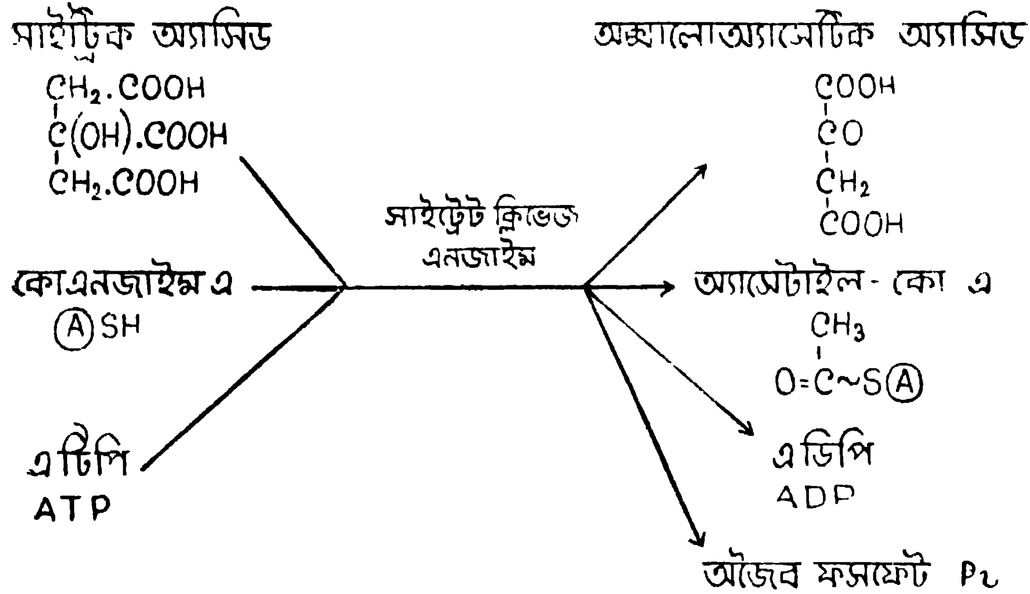
2. **ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণ :** মেদকলা, যকৃত, হৃৎপেশী, বৃক্ক প্রভৃতি কলার মাইটোকন্ড্রিয়ায় ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির বিটা-জারণের ফলে প্রতি পদে একটি করিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ অণু মুক্ত হইয়া যায় (18.4 প্রসঙ্গ এবং চিত্র 18.7 দ্রষ্টব্য)।

3. **অ্যাসেটোঅ্যাসিটেটের বিপাক :** ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণের ফলে যকৃতে অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট নামক যে কিটোনবর্গীয় পদার্থ উৎপন্ন হয়, তাহা রক্তে বাহিত হইয়া সরেখ (striated) পেশী, হৃৎপেশী প্রভৃতি যকৃতেতর (extrahepatic) কলায় পৌঁছিয়া অ্যাসেটোঅ্যাসেটিক থায়োকাইনেজ বা সাক্সিনিক থায়োফোরেজের ক্রিয়ায় অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন করে এবং শেষোক্ত বস্তুটি বিটা-কিটোথায়োলেজের প্রভাবে কোএনজাইম এ অণুর সহিত মিলিয়া দুই অণু অ্যাসেটাইল-কো-এ দান করে (18.4 প্রসঙ্গ এবং চিত্র 18.16 দ্রষ্টব্য)।

4. **এইচএমজি-কো-এ অণুর ভাঙ্গন :** অল্পস্বল্প এইচএমজি-কো-এ (HMG-CoA) যকৃত ও অন্যান্য কলার মাইটোকন্ড্রিয়ায় এইচএমজি-

কো-এ ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ভাঙ্গিয়া অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট ও অ্যাসেটাইল-কো-এ দান করে (চিত্র 18.14)। আবার এভাবে উৎপন্ন অ্যাসেটোঅ্যাসিটেটও যকৃতেতর কলায় ভাঙ্গিয়া আরও অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুতে পরিণত হয় (চিত্র 18.16)।

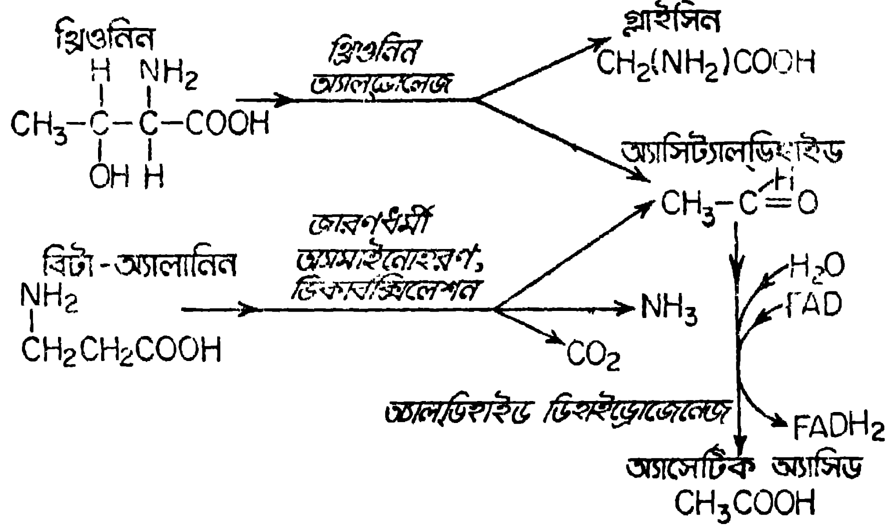
5. **সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়া :** যকৃত, মেদকলা (adipose tissue), স্তন প্রভৃতি কলার সাইটোপ্লাজমে সাইট্রেট হইতে সোজাসুজি কিছু অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন হইয়া থাকে। মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতরে ক্রেব্‌স্-চক্রের মাধ্যমে পাইরুভেট হইতে যে সাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়, তাহার কিছুটা সাইটোপ্লাজমে বাহির হইয়া আসিয়া সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইম, কোএনজাইম এ এবং এটিপি-র সাহায্যে ভাঙ্গিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ ও অক্সালোঅ্যাসিটেটে পরিণত হয় (17.15 প্রসঙ্গ এবং চিত্র 18.17 দ্রষ্টব্য)।



চিত্র 18.17. সাইট্রেট হইতে অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপাদন।

6. **অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিপাক :** দেহে কয়েকটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের ভাঙ্গনের ফলেও অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন হয়। দৃষ্টান্তস্বরূপ, লিউসিন ও আইসোলিউসিনের অপচিতির (catabolism) সময়ে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর উদ্ভব ঘটে ; ট্রিপ্‌টোফ্যান, লিউসিন ও টাইরোসিনের অপচিতির ফলে যে অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট উৎপন্ন হয়, তাহা হইতেও দেহে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর উৎপত্তি ঘটিতে পারে ; থ্রিওনিন অ্যাল্‌ডোলেজের ক্রিয়ায় থ্রিওনিন হইতে উৎপন্ন অ্যাসিট্যাল্‌ডিহাইড মাইটোকন্ড্রিয়ায় অ্যাল্‌ডিহাইড ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় জারিত হইয়া অ্যাসেটিক অ্যাসিড দান করে

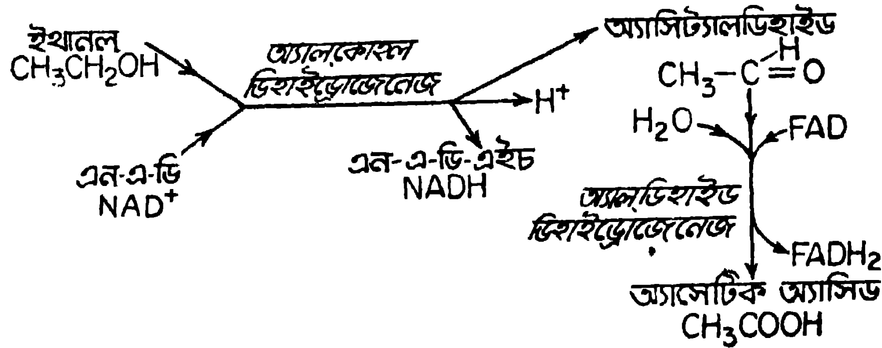
(চিত্র 18.18) এবং তাহা অচিরে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুতে পরিণত হয় (চিত্র 18.20) ; পিরিমিডিনের বিপাকজাত বিটা-অ্যালানিন জারণধর্মী অ্যামাইনোহরণের (oxidative deamination) মাধ্যমে অ্যামাইনো বর্গটি হারাইয়া এবং ডিকার্বক্সিলেশনের দ্বারা কার্বক্সিল বর্গ হারাইয়া অ্যাসিট্যাল্ডি-



চিত্র 18.18. কয়েকটি অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে অ্যাসেটিক অ্যাসিডের উৎপাদন।

হাইডে পরিণত হয় এবং তাহা হইতে ক্রমে অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও অ্যাসে-টাইল-কো-এ অণুর উৎপত্তি ঘটে।

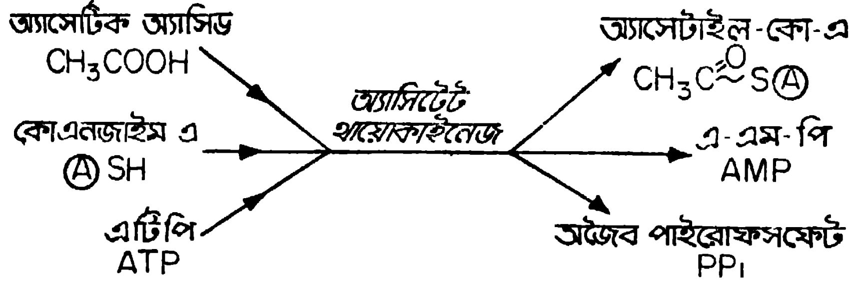
7. **মুক্ত অ্যাসিটেটের উৎপাদন ও পরিবর্তন :** দেহে নানা সূত্র হইতে অল্পস্বল্প মুক্ত অ্যাসেটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হইতে পারে। যথা, যকৃতে



চিত্র 18.19. অ্যালকোহল হইতে অ্যাসিট্যাল্ডিহাইড ও অ্যাসেটিক অ্যাসিডের উৎপাদন।

অ্যাস্পিরিনের জলবিশ্লেষের ফলে সোজাসুজি অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও স্যালিসাইলিক অ্যাসিডের উৎপাদন ঘটে। তাহা ছাড়া যকৃতে দস্তা-ঘটিত অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় ইথানলের জারণের ফলে অ্যাসিট্যাল্-ডিহাইডের উৎপত্তি ঘটিতে পারে (চিত্র 18.19) ; থ্রিওনিন ও বিটা-

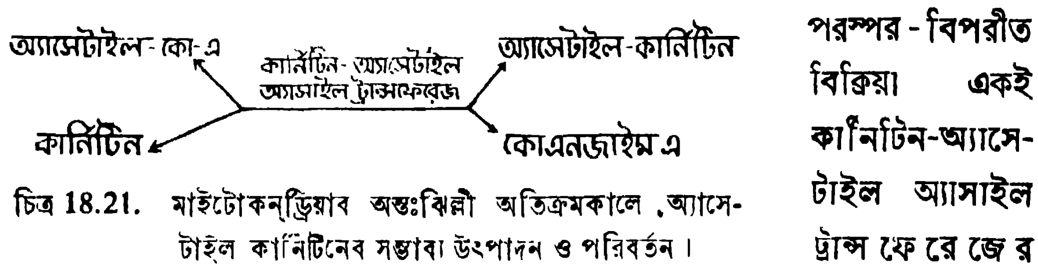
অ্যালানিন হইতেও অ্যাসিট্যাল্‌ডিহাইড উৎপন্ন হয় (চিত্র 18.18)। অ্যাসিট্যাল্‌ডিহাইড যকৃতের মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় অ্যাল্‌ডিহাইড ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় জারিত হইলে মুক্ত অ্যাসেটিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে। এভাবে উৎপন্ন অ্যাসেটিক অ্যাসিড যকৃতের মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় অ্যাসিটেট থায়োকাইনেজ এবং এটিপি-র সাহায্যে কোএনজাইম এ অণুর সহিত মিলিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন করে (চিত্র 18.20)।



চিত্র 18.20. অ্যাসেটিক অ্যাসিড হইতে অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপাদন।

মাইটোকন্‌ড্রিয়ার ঝিল্লী উত্তরণ :

মুক্ত অ্যাসেটিক অ্যাসিড প্রয়োজনমত ব্যাপনের (diffusion) দ্বারা মাইটোকন্‌ড্রিয়ার ঝিল্লী অতিক্রম করিয়া সাইটোপ্লাজম ও মাইটোকন্‌ড্রিয়ার ধাত্রের (matrix) মধ্যে যাতায়াত করিতে পারে। সম্ভবতঃ অল্প পরিমাণে অ্যাসেটাইল-কো-এ মাইটোকন্‌ড্রিয়ার অন্তঃঝিল্লীর একপৃষ্ঠে কার্নিটিনের সহিত বিক্রিয়ার ফলে অ্যাসেটাইল-কার্নিটিনে পরিণত হয় এবং ঐ আকারে অন্তঃঝিল্লীর অপরপৃষ্ঠ পর্যন্ত ব্যাপনের পরে সেখানে আবার কোএনজাইম এ অণুর সহিত মিলিয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ আকারে অন্তঃঝিল্লী ত্যাগ করিয়া যায়, কিন্তু কার্নিটিন মুক্ত হইয়া অন্তঃঝিল্লীতেই থাকিয়া যায় ; অন্তঃঝিল্লীর দুই পৃষ্ঠে এই দুইটি পরস্পর-বিপরীত বিক্রিয়া একই কার্নিটিন-অ্যাসেটাইল অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের



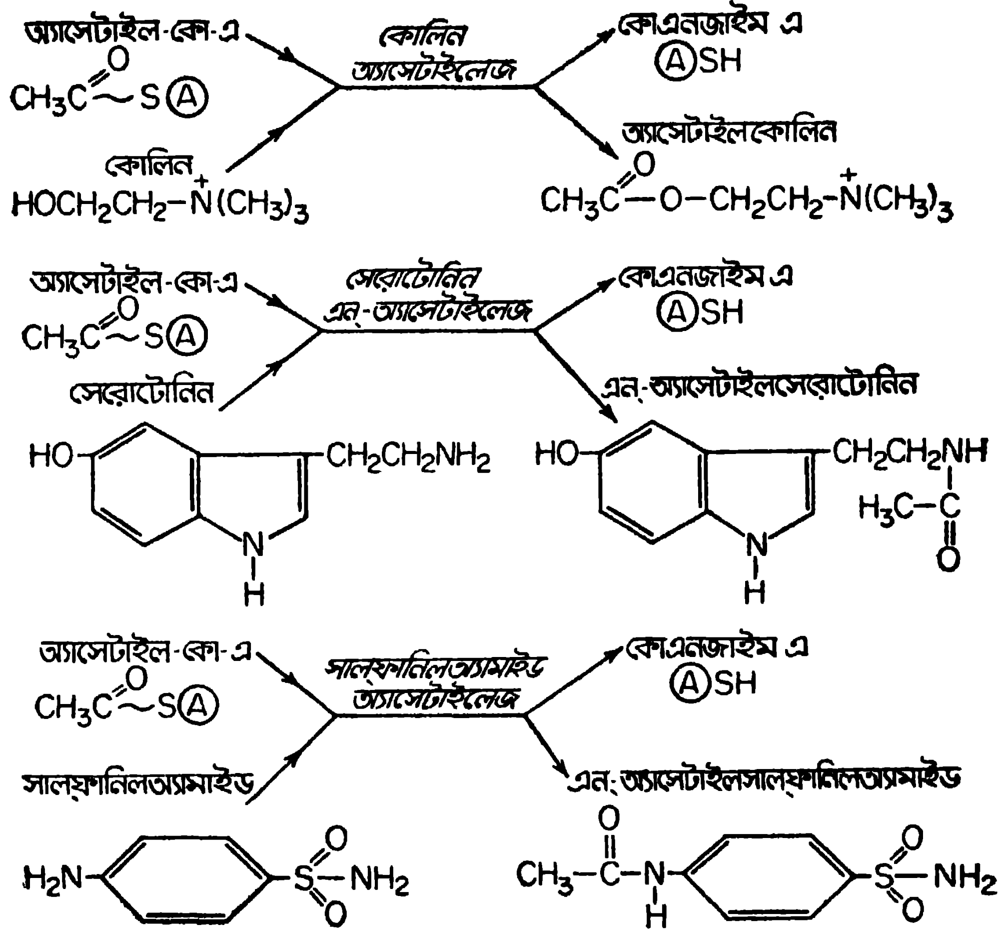
চিত্র 18.21. মাইটোকন্‌ড্রিয়ার অন্তঃঝিল্লী অতিক্রমকালে অ্যাসেটাইল কার্নিটিনের সম্ভাব্য উৎপাদন ও পরিবর্তন।

প্রভাবে সুসম্পন্ন হয় (চিত্র 18.21)। আবার যকৃত, মেদকলা ও স্তনের মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় যথেষ্ট পরিমাণে অ্যাসেটাইল-কো-এ অক্সালোঅ্যাসিটেটের সহিত মিলিয়া সাইট্রেটে পরিণত হয় এবং তাহা ট্রাইকার্বক্সিলেট বাহক (tricarboxylate carrier) নামক বস্তুর সাহায্যে মাইটোকন্‌ড্রিয়ার ঝিল্লী পার

হইয়া সাইটোপ্লাজমে আসিয়া সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় আবার অক্সালোঅ্যাসিটেট ও অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুতে বিশ্লিষ্ট হইয়া যায়।

ক্রিয়া ও পরিণাম :

1. অ্যাসেটাইল সংযোজন (acetylation) : অ্যাসেটাইলেজ বা অ্যাসেটাইল ট্রান্সফেরেজ গোষ্ঠীর এনজাইমগুলির সাহায্যে অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে অ্যাসেটাইল বর্গটি বিভিন্ন বস্তুর অণুতে স্থানান্তরিত করিয়া নানা সক্রিয়

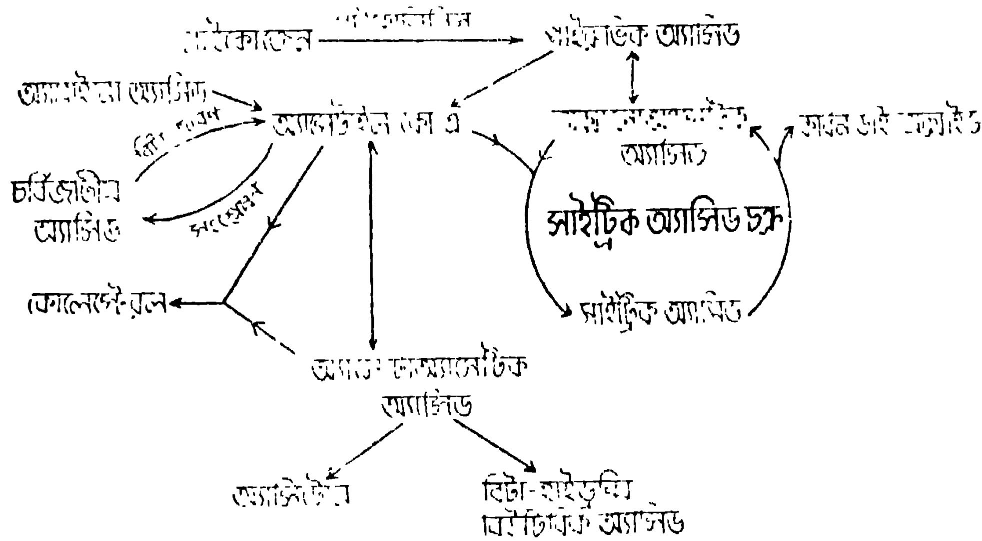


চিত্র 18.22. অ্যাসেটাইল সংযোজনের দৃষ্টান্ত।

বস্তুর উৎপাদন এবং বিভিন্ন হানিকর বস্তুর নিষ্ক্রিয়করণ (detoxication) সুসম্পন্ন করা হয়। যথা : (*a*) মস্তিষ্ক ও নার্ভতন্ত্রে কোলিন অ্যাসেটাইলেজের ক্রিয়ায় অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর অ্যাসেটাইল বর্গটি কোলিনে যুক্ত করিয়া অ্যাসেটাইলকোলিন উৎপাদন (চিত্র 18.22) ; (*b*) যকৃতে সালফানিল-অ্যামাইড অ্যাসেটাইলেজের প্রভাবে অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে অ্যাসেটাইল বর্গটি সালফানিলঅ্যামাইডে স্থানান্তরিত করিয়া শেষোক্ত বস্তুর নিষ্ক্রিয়করণ ;

(*c*) পিনিয়াল গ্রন্থিতে মেলাটোনিন সংশ্লেষণের পথে সেরোটোনিন-এন্-অ্যাসেটাইলেজের ক্রিয়ায় অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে অ্যাসেটাইল বর্গের সেরো-টোনিন অণুতে স্থানান্তরণ : (*d*) যকৃত, ত্বক, তরুণাস্থি, অস্থি প্রভৃতি কলায় মিউকোপলিস্যাকারাইড সংশ্লেষণের জন্য গ্লুকোজঅ্যামাইন-6-ফসফেট অ্যাসেটাইলেজের ক্রিয়ায় গ্লুকোজঅ্যামাইন-6-ফসফেটে অ্যাসেটাইল বর্গ যুক্ত করিয়া এন্-অ্যাসেটাইলগ্লুকোজঅ্যামাইন-6-ফসফেটের উৎপাদন ।

2. সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে জারণ : যকৃত, হৃৎপেশী, মস্তিষ্ক, বৃক্ক প্রভৃতির মাইটোকন্ড্রিয়ায় সাইট্রেট সিন্‌থেজের ক্রিয়ায় অ্যাসেটাইল-কো-এ এবং অক্সালো-অ্যাসেটিক অ্যাসিডের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া কোএনজাইম এ মুক্ত হইয়া যায় এবং সাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় (চিত্র 17.15)। অতঃপর সাইট্রেট অণুটি



চিত্র 18.23. অ্যাসিটেট বিপাকের সংক্ষিপ্তসার।

সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে জারিত হইয়া আবার অক্সালোঅ্যাসিটেটে পরিণত হয় । এভাবে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর অ্যাসিটেট অংশটি উক্ত চক্রের মাধ্যমে সম্পূর্ণ জারিত হইয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড ও জল উৎপন্ন করে এবং মোট 12টি উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনীর উদ্ভব ঘটায় (17.10 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) ।

3. কিটোনবর্গীয় পদার্থের উৎপাদন : খাদ্যে কার্বোহাইড্রেটের অভাব, মধুমেহ (diabetes mellitus) অথবা অন্য কোনও কারণে দেহে কার্বোহাইড্রেটের বিপাক ও সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র ব্যাহত হইলে ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণে উৎপন্ন অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুগুলি সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে জারিত হইতে না পারিয়া যকৃতে জমিতে থাকে এবং উহাদের দুইটি করিয়া অণুর মধ্যে বিক্রিয়া

ঘটিয়া অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ এবং তাহা হইতে অ্যাসেটোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড নামক কিটোনবর্গীয় বস্তুটির উৎপত্তি হইতে থাকে (18.4 প্রসঙ্গের 3-সংখ্যক অংশ এবং চিত্র 18.13 দ্রষ্টব্য)। অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট যকৃত হইতে রক্তের মাধ্যমে পেশী প্রভৃতি যকৃতেতর কলায় গিয়া পুনর্বার অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুতে পরিবর্তিত হইয়া সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে জারিত হইতে পারে (চিত্র 18.16)।

4. **ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষণ :** মেদকলা, স্তন, যকৃত প্রভৃতি কলার সাইটোপ্লাজমে ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্‌থেটেজ সিস্টেমের ক্রিয়ায় অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে পামিটিক অ্যাসিড ও অন্যান্য বৃহদণু (higher) ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষিত হয় (18.10 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

5 **কোলেস্টেরল সংশ্লেষণ :** যকৃত, অ্যাড্রেন্যাল, শুক্রাশয় (testis), ত্বক, ডিম্বাশয় (ovary) প্রভৃতি কলায় এইচএমজি-কো-এ সিন্‌থেজের ক্রিয়ায় অ্যাসেটাইল-কো-এ এবং অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর মিলন ঘটিয়া বিটা-হাইড্রক্সি-বিটা-মিথাইলগ্লুটারিল-কো-এ (HMG-CoA) উৎপন্ন হয় (চিত্র 18.14)। শেষোক্ত বস্তুটি হইতে ক্রমে মেভালোনেট, স্কোয়ালিন, ল্যানোস্টেরল প্রভৃতি অন্তর্বর্তী পদের মাধ্যমে কোলেস্টেরল সংশ্লেষিত হয় (18.11 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

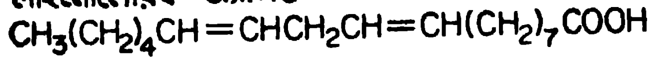
অ্যাসিটেট বা দুই-কার্বন যৌগের বিপাকের সংক্ষিপ্তসার চিত্রাকারে দেওয়া হইল (চিত্র 18.23)।

18.6 অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড

যে সকল ফ্যাটি অ্যাসিড অণুর কার্বনকঙ্কালে (carbon skeleton) অসংপৃক্তির (unsaturation) আধিক্যের জন্য একাধিক দ্বি-বন্ধনী (double bond) বর্তমান, সেগুলিকে **বহু-অসংপৃক্ত (polyunsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিড** বলে। এরূপ অনেকগুলি ফ্যাটি অ্যাসিডই মানবদেহের লিপিডগুলিতে উল্লেখনীয় পরিমাণে বর্তমান। কিন্তু লাইনোলেয়িক ($C_{17}H_{31}COOH$), লাইনোলেনিক ($C_{17}H_{29}COOH$) ও অ্যারাকিডোনিক ($C_{19}H_{31}COOH$) অ্যাসিড, এই তিনটি বহু-অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড দেহে সংশ্লেষিত হয় না বলিলেই চলে ; ফলে খাদ্যে এগুলি থাকা স্বাস্থ্যের পক্ষে অপরিহার্য এবং এই তিনটি ফ্যাটি অ্যাসিড অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড (essential fatty acids) নামে পরিচিত। প্রতিদিন আহার্যের আকারে মোট যত কিলোক্যালরি শক্তি

আহরণ করা প্রয়োজন, শিশু ও প্রাপ্তবয়স্কের ক্ষেত্রে তাহার যথাক্রমে শতকরা 4 ও 1 ভাগ উৎপাদনের মত অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড প্রাত্যহিক খাদ্যে থাকা উচিত। মানুষ ও অন্য স্তন্যপায়ী খাদ্যের লাইনোলেয়িক অ্যাসিড হইতে অ্যারাকিডোনিক অ্যাসিড সংশ্লেষণ করিতে পারে। লাইনোলেয়িক, লাইনোলেনিক ও অ্যারাকিডোনিক অ্যাসিডে যথাক্রমে দুইটি, তিনটি ও চারটি দ্বি-বন্ধনী আছে (চিত্র 18.24)। প্রত্যেকটি দ্বি-বন্ধনী সিস্ (*cis*) বিন্যাসে সজ্জিত থাকে (251 পৃষ্ঠার পাদটীকা দ্রষ্টব্য) ; ইহাদের ট্রান্স আইসোমারগুলি অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড নহে। লাইনোলেয়িক অ্যাসিড মুখ্যতঃ বাদাম তেল, সয়াবিনের তেল, কার্পাসবীজের তেল প্রভৃতি উদ্ভিজ্জ ভোজ্য তৈলে, লাইনোলেনিক অ্যাসিড তিসির তেল, মাছের তেল ও রেপসিড তেলে এবং অ্যারাকিডোনিক অ্যাসিড যকৃতের তেল প্রভৃতিতে বর্তমান। কিন্তু চর্বি, নারিকেল ও জলপাইয়ের তেলে, মাখনে ও 'বনস্পতি'তে অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড যৎসামান্য বা আদৌ নাই।

লাইনোলেয়িক অ্যাসিড



লাইনোলেনিক অ্যাসিড



অ্যারাকিডোনিক অ্যাসিড



চিত্র 18.24. তিনটি অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড।

খাদ্যে অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডের অভাব ঘটিলে ইঁদুরের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়, বৃক্কের মধ্যাংশ (renal medulla) সহ বহু কলায় প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিনের (18.7 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) মাত্রাল্পতা ঘটে, মূত্রনালীর রোগ ও ক্ষত দেখা দেয়, ত্বকে কর্কশ আঁশের মত চর্মরোগ উৎপন্ন হয়, মুখ ও গলার লোম খসিয়া পড়ে, রক্তে লিপিড পরিবহনে ব্যাঘাত ঘটে, যকৃতে চর্বি জমিতে পারে, লেজে রক্তপাতের চিহ্ন ও উহার শেষাংশে প্রদাহ দেখা দেয়, ক্রমে লেজের শেষার্ধ খসিয়া পড়ে, অবশেষে মৃত্যু ঘটে। লাইনোলেয়িক, লাইনোলেনিক ও অ্যারাকিডোনিক অ্যাসিড সেবনে এসকল রোগলক্ষণ দূর হয়। যে সকল শিশু বা প্রাপ্তবয়স্ক রোগীকে স্বাভাবিক খাদ্যের পরিবর্তে দীর্ঘকাল কেবল ফ্যাট-বিহীন খাদ্য গ্রহণ করিতে দেওয়া হয় তাহাদের রক্তের লিপিডে অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডের মাত্রা হ্রাস পায়, রক্তে লিপিড পরিবহন ব্যাহত হয়, ধমনীগাত্রে বিকার (degeneration) এবং ত্বকে একৃজিমা-জাতীয় চর্মরোগ দেখা দেয় ; লাইনোলেয়িক অ্যাসিড সেবনে ইহা নিরাময় হয়।

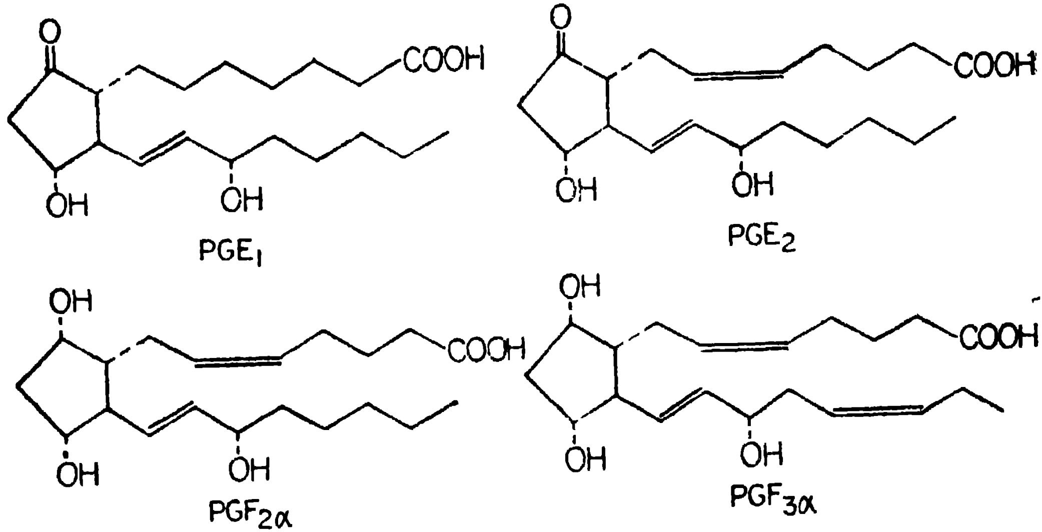
দেহে অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডের সম্ভাব্য ক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ : (*a*) অন্যান্য ফ্যাটি অ্যাসিডের মতই অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডগুলিও ফসফোলিপিড অণুতে বর্তমান ; অতএব ফসফোলিপিড ও লাইপোপ্রোটিন সংশ্লেষণের জন্য ইহারা অত্যাবশ্যক। (*b*) যেহেতু যকৃতে আগত ফ্যাট প্রধানতঃ লাইপোপ্রোটিন আকারেই রক্তরস দিয়া অন্যত্র চালিত হয়, অতএব এইভাবে যকৃত হইতে চর্বি-স্থানান্তরণের (fat mobilisation) জন্যও অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডের গুরুত্ব আছে ; ফসফোলিপিড ও লাইপোপ্রোটিন অণুর গঠনের অপরিহার্য উপাদান হিসাবেই অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি চর্বিসঞ্চালক (lipotropic) বস্তুরূপে কাজ করে এবং ইহাদের অভাবে দেহে লিপিডের পরিবহন ব্যাহত হইয়া যকৃতে চর্বি জমে। (*c*) ফসফোলিপিড ও লাইপোপ্রোটিনের অন্যতম উপাদান রূপে অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি কোষের এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম, মাইটো-কন্ড্রিয়া প্রভৃতি কোষাঙ্গকের ঝিল্লীতে বর্তমান এবং তাহাদের গঠন ও ক্রিয়া অক্ষুণ্ণ রাখার জন্য অত্যাবশ্যক। (*d*) অ্যারাকিডোনিক অ্যাসিড হইতে প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিন সংশ্লেষিত হয় ; এজন্যই অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডের অভাবে ইঁদুরের বহু কলায় প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিনের পরিমাণ কমিয়া যায়। (*e*) অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি কোলেস্টেরলে যুক্ত হইয়া যে সকল কোলেস্টেরল এস্টার উৎপন্ন করে, সম্ভবতঃ সেগুলিকে যকৃত ও অন্যান্য কলা অপেক্ষাকৃত দ্রুত রক্তরস হইতে অপসারণ করিয়া অচিরে তাহাদের বিপাক এবং রেচন ঘটায় ; বোধ হয় এজন্যই অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডে সমৃদ্ধ বাদাম তেল, সয়াবিন তেল প্রভৃতি ভোজ্য তেল খাইলে রক্তরসে কোলেস্টেরল হ্রাসের প্রবণতা দেখা যায়।

18.7 প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিন

কতকগুলি অসংপৃক্ত, হাইড্রক্সিল-যুক্ত, C_5-বলয়বিশিষ্ট এবং 20টি কার্বনসম্বলিত (C_{20}) ফ্যাটি অ্যাসিড প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিন (prostaglandins, PG) রূপে পরিচিত। কার্বনকঙ্কালে (carbon skeleton) দ্বি-বন্ধনীগুলির সংখ্যা ও অবস্থিতি এবং বিভিন্ন কার্বনে বিধৃত হাইড্রক্সিল ও কিটোন বর্গের সংখ্যা ও অবস্থিতি অনুসারে ইহাদের PGA, PGB, PGE, PGF প্রভৃতি কয়েকটি প্রাথমিক শ্রেণীতে এবং তাহাদের প্রত্যেকটিকে আবার 1, 2, 3 প্রভৃতি সংখ্যা দ্বারা সূচিত উপশ্রেণীতে বিভক্ত করা হইয়াছে (চিত্র 18.25)।

ফুসফুস, শুক্রস্থলী (seminal vesicle), বৃক্ক, যকৃত, জরায়ু, হৃৎপিণ্ড, মস্তিষ্ক, পৌষ্টিক নালী প্রভৃতি কলায় প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিন এন্ডোপারঅক্সাইড সিন্থেজ ও অন্যান্য এনজাইমের ক্রিয়ায় অ্যারাকিডোনিক, এইকোসাপেন্টা-

এনোয়িক প্রভৃতি বহু-অসংপৃক্ত (polyunsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিড হইতে প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিনগুলি সংশ্লেষিত হয়। বিভিন্ন অঙ্গ ও কলায় প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিনের নানারূপ হর্মোন-সদৃশ ক্রিয়া দেখা যায়। বহু উল্লেখযোগ্য ভেষজক্রিয়া (pharmacological action) থাকায় ঔষধ হিসাবেও ইহাদের প্রয়োগ করা যায়। প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিনগুলি কোনও কলায় বিশেষ সঞ্চিত থাকে না। যকৃত, মস্তিষ্ক, বৃক্ক, ফুসফুস প্রভৃতি কলা রক্তরস হইতে উহাদের দ্রুত অপসারণ করিয়া অপচিতি (catabolism) ঘটায়—ডিহাইড্রোজেনেজ, রিডাকৃটেজ প্রভৃতি এনজাইমের ক্রিয়ায় প্রারম্ভিক পরিবর্তনের পরে বিটা- ও ওমেগা-জারণের মাধ্যমে উহাদের অন্তিম বিপাক ঘটে এবং বিপাকজাত বস্তুগুলি মূত্রে বাহির হয়।



চিত্র 18.25. কয়েকটি প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিন।

বিভিন্ন কলার কোষমধ্যে সাইক্লিক এ-এম-পি (cyclic AMP) নামক বস্তুর পরিমাণ বাড়াইয়া বা কমাইয়া প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিন ঐ সকল কোষের উপরে বিভিন্ন হর্মোনের ক্রিয়ার তারতম্য ঘটাইতে পারে। প্রস্টাগ্ল্যাণ্ডিনের কতকগুলি উল্লেখযোগ্য জৈব ক্রিয়া নিম্নরূপ : জরায়ুর অরেখ পেশীর বলিষ্ঠ সংকোচন, পাকস্থলীর রসক্ষরণ নিবারণ, শ্বাসনালীর প্রসারণ, পৌষ্টিক নালীর গাত্রে অরেখ পেশীর সংকোচন ও সঞ্চালন, মেদকলায় চর্বিবিশ্লেষ কমাইয়া রক্তরসে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিমাণ হ্রাস করা, রক্তবাহের প্রসারণ ঘটাইয়া রক্তচাপ কমানো, মূত্রে জল ও সোডিয়ামের রেচন বর্ধিত করা, থাইরক্সিন ও কর্টিসলের ক্ষরণ উদ্দীপিত করা প্রভৃতি।

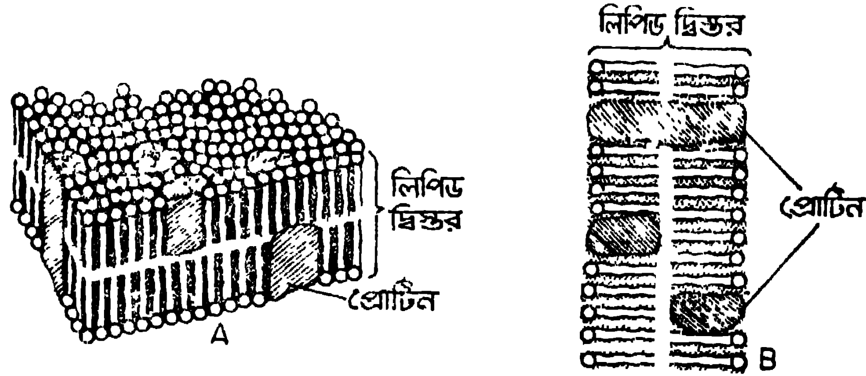
18.8 ফসফোলিপিড বিপাক

উৎস : ডিম, মস্তিষ্ক, বৃক্ক, যকৃত, সয়াবিন, বাদাম, ভুট্টা প্রভৃতি খাদ্যে উল্লেখযোগ্য পরিমাণে ফসফোলিপিড থাকে। ডিমে যথেষ্ট লেসিথিন ও কেফালিন এবং অল্প স্ফিংগোমায়ালিন বর্তমান। শেষোক্ত বস্তুটির উৎস হিসাবে মস্তিষ্ক, ভুট্টা ও সয়াবিন উল্লেখনীয়। মস্তিষ্ক ও মাংসে কিছু প্লাজমালোজেন থাকে।

ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী, যকৃত, মস্তিষ্ক, নার্ভতন্ত্র, মেদকলা প্রভৃতি স্থানে যথেষ্ট ফসফোলিপিড সংশ্লেষিত হয়।

ক্রিয়া :

1. কোষঝিল্লী, মাইটোকনড্রিয়া, লাইসোজোম, গল্‌গি অঙ্গ, এনডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম প্রভৃতির ঝিল্লী ফসফোলিপিডের দুইটি স্তর এবং তাহাতে প্রোথিত কিছু প্রোটিন অণু দিয়া গঠিত। লিপিড দ্বিস্তরের মধ্যে



চিত্র 18.26. কোষঝিল্লীর তরল মোজেইক প্রতিরূপ। A- কোষঝিল্লীর লাইপোপ্রোটিন স্তর। B- প্রস্থচ্ছেদ।

ফসফোলিপিড ও প্রোটিনের অণুগুলি ভাসিয়া বেড়াইতে পারে। স্তরমধ্যে ছড়াইয়া থাকা প্রোটিনসহ পরিপ্লব (mobile) ফসফোলিপিড অণুর দ্বিস্তরটিকে অনেকটা তরল মোজেইকের মত মনে হয় এবং এই পরিপ্লব ও পরিবর্তনশীল রূপকেই কোষঝিল্লীর **তরল মোজেইক প্রতিরূপ** (fluid mosaic model) বলে (চিত্র 18.26)।

2. ফসফোলিপিড কোষঝিল্লী ও কোষাঙ্গকগুলির (organelles) ঝিল্লী গঠনের অপরিহার্য উপাদান বলিয়া ঐ সকল ঝিল্লীর বহু জৈব ক্রিয়ায় ফসফোলিপিডের ভূমিকা আছে—কোষঝিল্লীর পারগম্যতা (permeability), মাইটোকনড্রিয়ার অন্তঃঝিল্লী ও ক্রিস্টায় অন্তিম জারণ ও জারণনির্ভর

ফসফেট-সংযোজন (oxidative phosphorylation), ঝিল্লীর মধ্য দিয়া আয়ন ও অন্যান্য বস্তুর পরিবহন প্রভৃতি বহু কার্যের সহিত ঝিল্লীর ফসফোলিপিডগুলির ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক আছে।

3. নার্ভতন্তুর মায়ালিন আচ্ছাদনী ও কেন্দ্রীয় নার্ভতন্ত্রের শ্বেত বস্তুতে (white matter) যথেষ্ট পরিমাণে ফসফোলিপিড থাকে এবং তাহা নার্ভতন্তুর চারিপাশে অন্তরকের (insulator) আকারে বিদ্যুৎ-অপরিবাহী স্তরের সৃষ্টি করিয়া নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ (nerve impulse) বহনে সাহায্য করে।

4. ফুসফুসের বায়ুস্থলীর (alveolus) গাত্রে লেসিথিন-ঘটিত লাইপো-প্রোটিন থাকায় বায়ুস্থলী ও ফুসফুসের স্থিতিস্থাপকতা (elasticity) রক্ষিত হয়।

5. রক্তপাতের সময়ে আহত কলা ও ক্ষতিগ্রস্ত অণুচক্রিকা হইতে নিঃসৃত ফসফোলিপিড থ্রম্বোপ্লাস্টিনরূপে ক্রিয়ার মাধ্যমে প্রোথ্রম্বিনকে থ্রম্বিনে পরিণত করিয়া রক্ততঞ্চনে (blood coagulation) সাহায্য করে।

6. জলে অদ্রাব্য ফ্যাট, অন্যান্য লিপিড, স্টেরল ও চর্বিদ্রাব্য ভিটামিন-গুলিকে জলীয় মাধ্যমে অবদ্রবিত (emulsified) বা দ্রবীভূত করিতে ফসফো-লিপিডের গুরুত্ব আছে; এজন্যই অন্ত্রে লিপিড, স্টেরল প্রভৃতির শোষণ, রক্ত ও লসিকায় তাহাদের পরিবহন এবং যকৃত হইতে মেদকলায় চর্বির স্থানান্তরণে ফসফোলিপিডগুলি অপরিহার্য।

(*a*) ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে পিত্তলবণের ক্রিয়ায় ফ্যাটের পরিপাকজাত বস্তুগুলি এবং কোলেস্টেরল, লেসিথিন, চর্বিদ্রাব্য ভিটামিন প্রভৃতির অণু একত্রিত হইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণিকা বা **মিসেল** (micelle) উৎপন্ন করে; মিসেলের তৈলাক্ত কেন্দ্রীয় অংশে ফ্যাটের পরিপাকজাত বস্তু, কোলেস্টেরল, চর্বিদ্রাব্য ভিটামিন প্রভৃতির অদ্রাব্য অণুগুলি ভিড় করিয়া থাকে, কিন্তু তাহাদের ঢাকিয়া মিসেলের বহিঃপৃষ্ঠে ফসফোলিপিড, পিত্তলবণ প্রভৃতির জলাকর্ষী (hydrophilic) বর্গ-গুলি সজ্জিত থাকায় মিসেলগুলি জলে মিশিয়া সূক্ষ্ম অবদ্রবের আকারে থাকে এবং ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে সহজেই শোষিত হয়।

(*b*) ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে শোষিত ফ্যাটি অ্যাসিড, মোনোগ্লিসেরাইড প্রভৃতি হইতে ফ্যাট সংশ্লেষিত হইয়া কোলেস্টেরল, চর্বিদ্রাব্য ভিটামিন প্রভৃতির অণুগুলির সহিত একত্রে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার আকারে সংহত হয়; কণা-গুলির বহিঃস্তরে অল্প প্রোটিন ও কিছু ফসফোলিপিডের স্তর যুক্ত হইয়া **কাইলোমাইক্রন** (chylomicron) কণার সৃষ্টি হয়। কাইলোমাইক্রন কণার

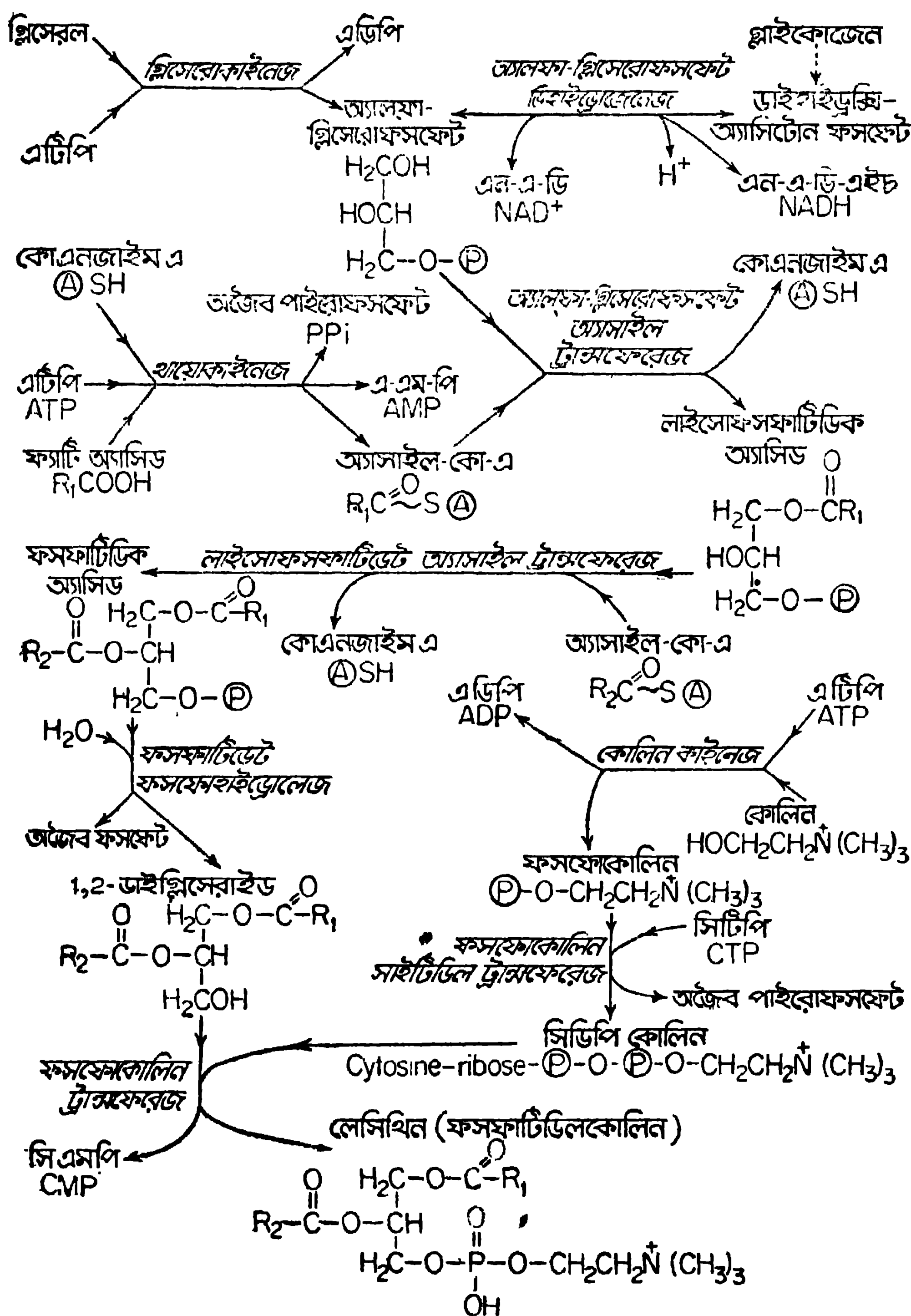
বহিঃপৃষ্ঠে ফসফোলিপিড ও প্রোটিনের জলাকর্ষী বর্গগুলি সজ্জিত থাকায় ঐ কণাগুলি লসিকার জলীয় মাধ্যমে অবদ্রবের (emulsion) আকারে বাহিত হইতে পারে এবং এভাবেই ইহারা ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষগুলি হইতে লসিকা দিয়া রক্তে প্রবেশ করে।

(*c*) যকৃতে ফ্যাট, কোলেস্টেরল, কোলেস্টেরল এস্টার, ফসফোলিপিড, অ্যাপোলাইপোপ্রোটিন প্রভৃতিকে মিলাইয়া অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন (VLDL) সংশ্লেষণ করিয়া তাহাকে রক্তরসে ছাড়িয়া দেওয়া হয়; ফসফোলিপিড ও অ্যাপোলাইপোপ্রোটিনের জলাকর্ষী বর্গগুলির সাহায্যে উক্ত লাইপোপ্রোটিন রক্তরসের জলীয় মাধ্যমে অবদ্রবিত থাকিয়া মেদকলায় যায়। যকৃতে ফসফোলিপিড সংশ্লেষণে ব্যাঘাত ঘটিলে ফ্যাট হইতে লাইপোপ্রোটিনের উৎপাদন ব্যাহত হওয়ায় যকৃত হইতে চর্বি মেদকলায় স্থানান্তরিত হইতে পারে না এবং যকৃত চর্বিভারাক্রান্ত হইয়া পড়ে (18.3 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

সংশ্লেষণ : ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী, যকৃত ও টিউমার কলায় দ্রুত ও প্রভূত পরিমাণে ফসফোলিপিড সংশ্লেষিত হয়। মস্তিষ্ক, নার্ভতন্ত্র, মেদকলা, পেশী, স্তন প্রভৃতি কলায়ও ইহার সংশ্লেষণ ঘটে।

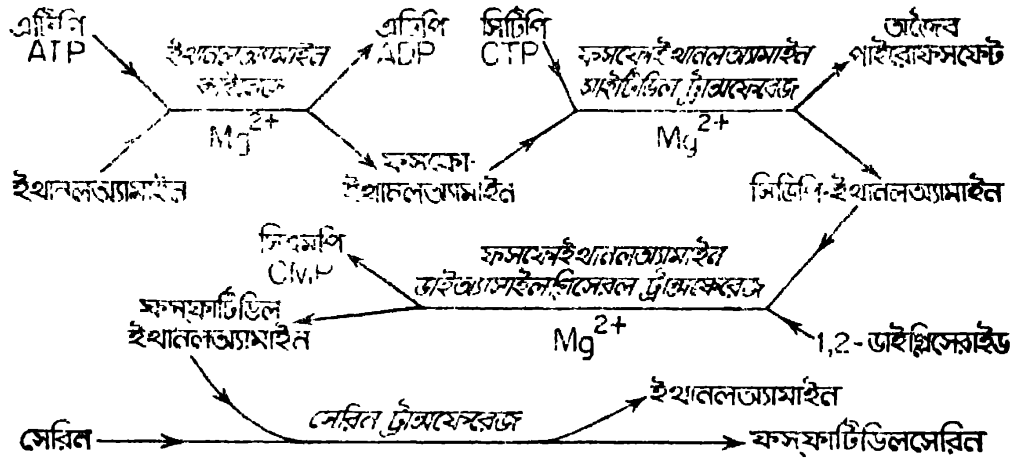
1. লেসিথিন বা ফসফাটিডিলকোলিন সংশ্লেষণ : (*a*) যকৃত ও বাদামী মেদকলায় (brown adipose tissue) গ্লিসেরোকাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি হইতে একটি ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া গ্লিসেরল অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেটে পরিণত হয়; কিন্তু শ্বেত মেদকলায় ও ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে গ্লাইকোলিসিসের দ্বারা উৎপন্ন ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট এন-এ-ডি-এইচ ও অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় বিজারিত (reduced) হইলে অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেটের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 18.27)। (*b*) ফ্যাটি অ্যাসিড থায়োকাইনেজের প্রভাবে এবং এটিপি-র সাহায্যে ফ্যাটি অ্যাসিড ও কোএনজাইম এ মিলিত হইয়া অ্যাসাইল-কো-এ উৎপন্ন হয়। (*c*) অ্যাল্‌ফা-গ্লিসেরোফসফেট অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় একটি অ্যাসাইল-কো-এ অণু হইতে ফ্যাটি অ্যাসিড বা অ্যাসাইল বর্গটি অ্যাল্‌ফা-গ্লিসেরোফসফেট অণুতে গিয়া যুক্ত হইলে লাইসোফস্‌ফাটিডিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে; সাধারণতঃ এই পদে একটি দীর্ঘাণু সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড বর্গ এভাবে গ্লিসেরোফসফেটের গ্লিসেরল অংশের প্রথম কার্বনে (C^1) যুক্ত হয়। (*d*) লাইসোফস্‌ফাটিডেট অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় দ্বিতীয় একটি অ্যাসাইল-কো-এ হইতে উহার অ্যাসাইল বর্গটি লাইসোফস্‌ফাটিডিক অ্যাসিডে

স্থানান্তরিত হইলে শেষোক্ত বস্তুটি ফস্‌ফ্যাটিডিক অ্যাসিডে পরিণত হয়; অনেক ক্ষেত্রেই এই পদে একটি বহু-অসংপৃক্ত (polyunsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিড বর্গ লাইসোফসফ্যাটিডেটের গ্লিসেরল অংশের দ্বিতীয় কার্বনে (C^2)



চিত্র 18.27. লেসিথিন বা ফসফাটিডিলকোলিনের সংশ্লেষণ।

যুক্ত হয়। (*e*) ফসফাটিডেট ফস্‌ফোহাইড্রোলেজের দ্বারা ফসফাটিডিক অ্যাসিডের জলবিশ্লেষ ঘটিয়া অজৈব ফসফেট ও 1,2-ডাইগ্লিসেরাইড উৎপন্ন হয়। (*f*) এসকল বিক্রিয়ার পাশাপাশি কোলিন কাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া কোলিন ফসফোকোলিনে পরিবর্তিত হয়। (*g*) ফসফোকোলিন সাইটিডিল ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে শেষোক্ত বস্তুটির সহিত সাইটিডিন ট্রাইফসফেটের (CTP) বিক্রিয়া ঘটিলে অজৈব পাইরো-ফসফেট ও সাইটিডিন ডাইফসফোকোলিনের (CDP-choline) উৎপত্তি হয়। (*h*) সর্বশেষে শেষোক্ত অণুটির ফসফোকোলিন বর্গ ফসফোকোলিন ডাইঅ্যাসাইলগ্লিসেরল ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে পূর্বোক্ত 1,2-ডাইগ্লিসেরাইড অণুতে যুক্ত হইলে সাইটিডিন মোনোফসফেট (CMP) ও লেসিথিনের উৎপত্তি ঘটে।



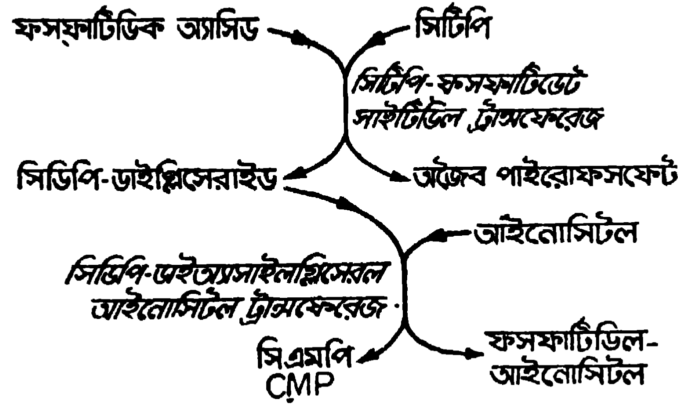
চিত্র 18.28. ফসফাটিডিলইথানলঅ্যামাইন ও ফসফাটিডিলসেরিনের সংশ্লেষণ।

2. **কেফালিন সংশ্লেষণ :** ফস্‌ফাটিডিলইথানলঅ্যামাইন অর্থাৎ ইথানল-অ্যামাইন-ঘটিত কেফালিন সংশ্লেষণের সময়ে সিডিপি-ইথানলঅ্যামাইন উৎপাদন করিতে হয় (চিত্র 18.28) : (*a*) ইথানলঅ্যামাইন কাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া ইথানলঅ্যামাইন ফস্‌ফোইথানল-অ্যামাইনে পরিণত হয়। (*b*) ফসফোইথানলঅ্যামাইন সাইটিডিল ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে শেষোক্ত বস্তুটির সহিত সিটিপি-র বিক্রিয়া ঘটিয়া অজৈব পাইরোফসফেট ও সিডিপি-ইথানলঅ্যামাইনের উৎপত্তি হয়। অতঃপর উপরের ছত্রে বর্ণিত পদ্ধতিতে 1,2-ডাইগ্লিসেরাইড উৎপাদন করিয়া তাহার অণুতে সিডিপি-ইথানলঅ্যামাইনের ফসফোইথানলঅ্যামাইন বর্গটি

ফসফোইথানলঅ্যামাইন ডাইঅ্যাসাইলগ্লিসেরল ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে স্থানান্তরিত করিলে সিএম্‌পি (CMP) ও ফসফাটিডিলইথানলঅ্যামাইনের উৎপত্তি ঘটে।

সেরিন ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে সেরিন আসিয়া ফস্‌ফাটিডিলইথানল-অ্যামাইন অণুতে ইথানলঅ্যামাইন বর্গের স্থলাভিষিক্ত হইলে ফস্‌ফাটিডিলসেরিন বা সেরিন-ঘটিত কেফালিনের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 18.28)।

ফস্‌ফাটিডিলআইনোসিটল উৎপাদনের সময়ে প্রথমে উপরে বিবৃত পথে ফস্‌ফাটিডিক অ্যাসিড সংশ্লেষিত হয়। অতঃপর সিটিপি-ফস্‌ফাটিডেট সাইটিডিল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় সিটিপি অণুর সাইটিডিল বা সিএম্‌পি বর্গটি ফসফাটিডিক অ্যাসিডে যুক্ত হইলে শেষোক্ত বস্তুটি সিডিপি-ডাইগ্লিসেরাইডে পরিণত হয় (চিত্র 18.29)। পরবর্তী পদে সিডিপি-ডাইঅ্যাসাইলগ্লিসেরল

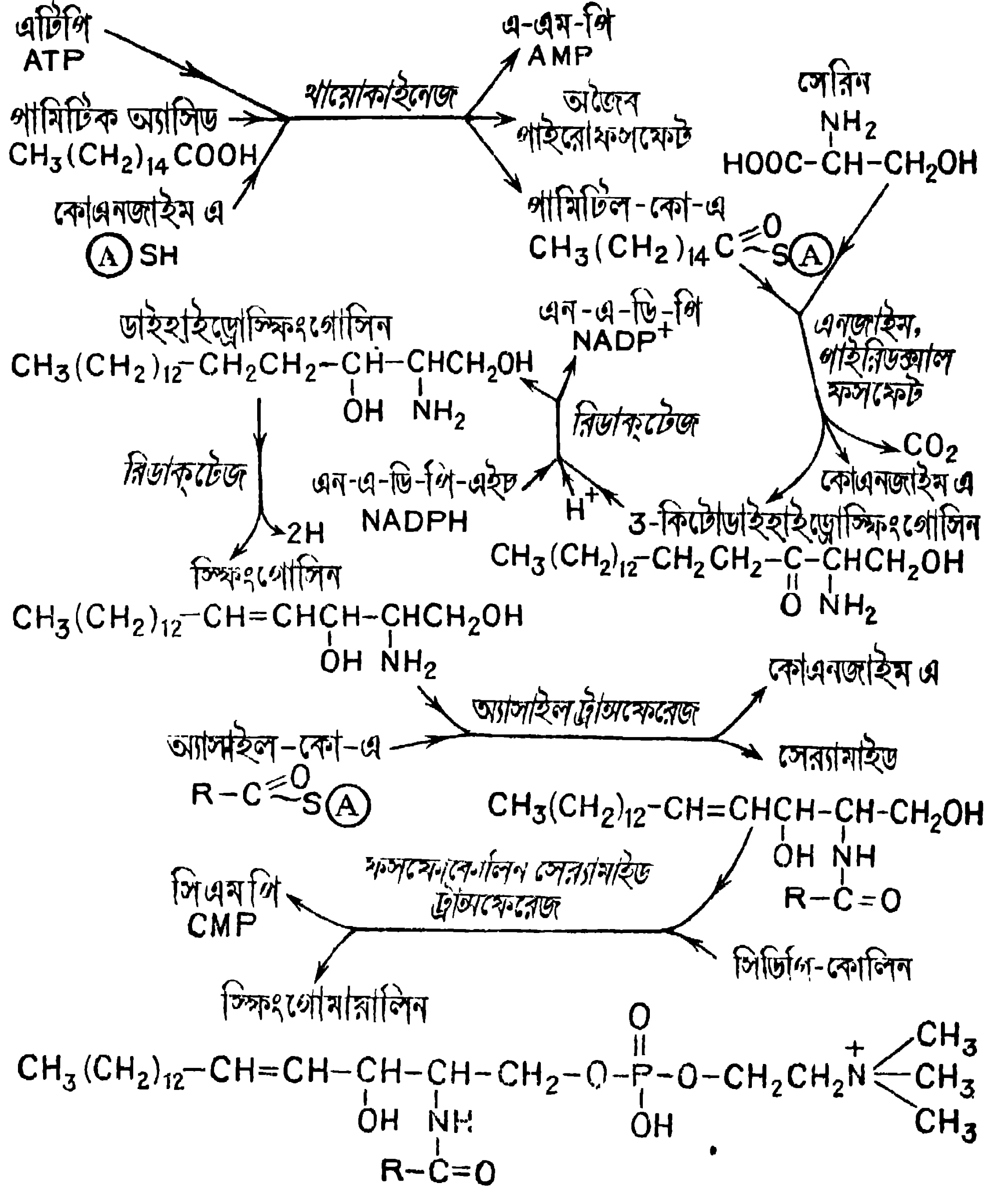


চিত্র 18.29 ফসফাটিডিলআইনোসিটলের সংশ্লেষণ।

আইনোসিটল ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে একটি আইনোসিটল অণু সিডিপি-ডাইগ্লিসেরাইডের সাইটিডিল (CMP) বর্গের স্থলাভিষিক্ত হইলে ফসফাটিডিল-আইনোসিটল ও মুক্ত সিএম্‌পি উৎপন্ন হয়।

3. **স্ফিংগোমায়ালিন সংশ্লেষণ :** মস্তিষ্কে পামিটিক অ্যাসিড ও সেরিন হইতে প্রথমে স্ফিংগোসিন নামক অসংপৃক্ত, দীর্ঘাণু ও নাইট্রোজেনযুক্ত অ্যালকোহলটি সংশ্লেষিত হয় ; পরে অ্যাসাইল-কো-এ এবং সিডিপি-কোলিন হইতে যথাক্রমে অ্যাসাইল বর্গ ও ফসফোকোলিন বর্গ উক্ত স্ফিংগোসিন অণুতে স্থানান্তরিত করিয়া তাহাকে স্ফিংগোমায়ালিনে পরিণত করা হয় (চিত্র 18.30)। (*a*) লং-চেন ফ্যাটি অ্যাসিড থায়োকাইনেজের ক্রিয়ায় পামিটিক অ্যাসিড ও কোএনজাইম এ মিলিত হইয়া পামিটিল-কো-এ উৎপন্ন করে। (*b*) মাইক্রোজোমে এনজাইম, ম্যাংগানিজ আয়ন ও

পাইরিডক্সাল ফসফেটের ক্রিয়ায় পামিটিল-কো-এ ও সেরিনের বিক্রিয়া ঘটিয়া 3-কিটোডাইহাইড্রোস্ফিংগোসিন উৎপন্ন হয়। (*c*) শেষোক্ত বস্তুটি প্রথমে এন-এ-ডি-পি-এইচ ও 3-কিটোস্ফিংগোসিন রিডাক্টেজের ক্রিয়ায় বিজারিত

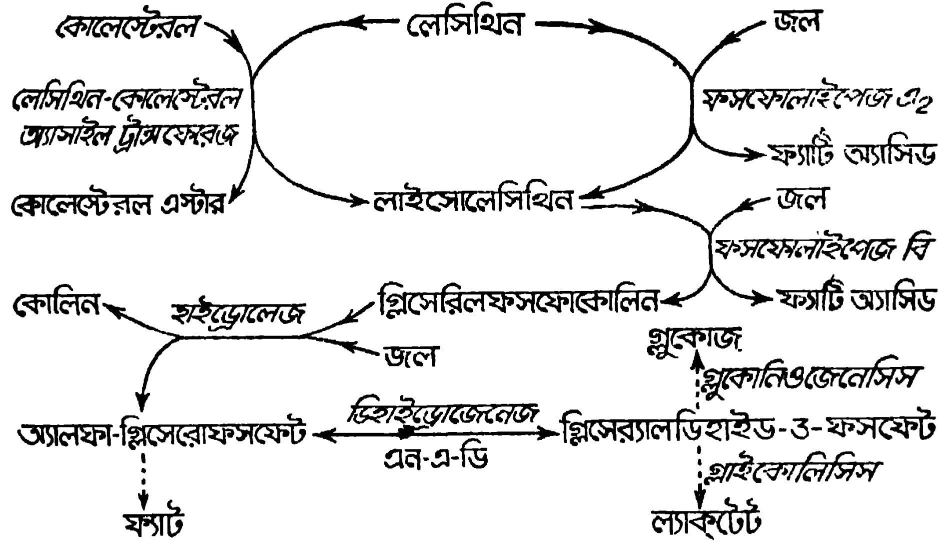


চিত্র 18.30. স্ফিংগোমায়ালিনের সংশ্লেষণ।

হইয়া ডাইহাইড্রোস্ফিংগোসিনে পরিণত হয় এবং তাহা আবার ডাইহাইড্রো-স্ফিংগোসিন রিডাক্টেজের ক্রিয়ায় জারিত হইয়া স্ফিংগোসিনে রূপান্তরিত হয়। (*d*) অতঃপর অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের প্রভাবে অ্যাসাইল-কো-এ হইতে অ্যাসাইল বর্গ স্ফিংগোসিন অণুতে আসিয়া যুক্ত হইলে সেরামাইড বা

এন্‌-অ্যাসাইলস্ফিংগোসিনের উৎপত্তি ঘটে ; সর্বশেষে ফসফোকোলিন সেরামাইড ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় সিডিপি-কোলিনের ফসফোকোলিন বর্গটি সেরামাইড অণুতে স্থানান্তরিত হইলে স্ফিংগোমায়েলিন উৎপন্ন হয়। স্ফিংগোসিনে অ্যাসাইল ও ফসফোকোলিন বর্গ সংযোজনের বিক্রিয়াদ্বয়ের ক্রম (*d*) অংশে বর্ণিত ক্রমের বিপরীত হইতে পারে ; সেক্ষেত্রে প্রথমে ফসফোকোলিন ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় সিডিপি-কোলিনের ফসফোকোলিন বর্গটি স্ফিংগোসিনে স্থানান্তরিত হইলে স্ফিংগোসিন ফসফোরিলকোলিন উৎপন্ন হয় এবং পরে শেষোক্ত বস্তুর অণুতে অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় অ্যাসাইল-কো-এ হইতে একটি অ্যাসাইল বর্গ আসিয়া যুক্ত হইলে স্ফিংগোমায়েলিনের উৎপত্তি ঘটে।

অপচিতি (catabolism) : যকৃত, মস্তিষ্ক প্রভৃতি কলায় ফসফো-লিপিডের ভাঙ্গন ঘটে। কিন্তু অধিকাংশ ক্ষেত্রে সম্পূর্ণ ভাঙ্গনের পরিবর্তে আংশিক ভাঙ্গনের পরেই বিপাকজাত অণুগুলি দিয়া পুনর্বার নূতন ফসফোলিপিড সংশ্লেষিত হয়।



চিত্র 18.31. লেসিথিনের অপচিতি।

অপচিতির সময়ে ফসফোলাইপেজ এ$_2$ এনজাইমের দ্বারা জলবিশ্লেষের মাধ্যমে লেসিথিন বা কেফালিনের দ্বিতীয় কার্বন (C^2) হইতে ফ্যাটি অ্যাসিডটি মুক্ত হইয়া যায় ; ফলে যথাক্রমে লাইসোলেসিথিন বা লাইসো-কেফালিন উৎপন্ন হয় (চিত্র 18.31)। লেসিথিনের ক্ষেত্রে এই পদটির একটি বিকল্প বিক্রিয়া আছে—লেসিথিন-কোলেস্টেরল অ্যাসাইলট্রান্সফেরেজের

ক্রিয়ায় লেসিথিন হইতে পূর্বোক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড বর্গটি কোলেস্টেরলে স্থানান্তরিত হইলে লাইসোলেসিথিন ও কোলেস্টেরল এস্টারের উৎপত্তি ঘটে।

অতঃপর ফস্‌ফোলাইপেজ বি অর্থাৎ লাইসোফস্‌ফোলাইপেজের ক্রিয়ায় লাইসোলেসিথিন বা লাইসোকেফালিনের জলবিশ্লেষ ঘটিয়া দ্বিতীয় ফ্যাটি অ্যাসিড বর্গটিও মুক্ত হইয়া যায় এবং যথাক্রমে গ্লিসেরিলফস্‌ফোকোলিন বা গ্লিসেরিলফস্‌ফোইথানলঅ্যামাইনের উৎপত্তি ঘটে। শেষোক্ত পদার্থদ্বয় এস্টার হাইড্রোলেজের দ্বারা জলবিশ্লিষ্ট হইলে অ্যাল্‌ফা-গ্লিসেরোফসফেট এবং কোলিন বা ইথানলঅ্যামাইন পাওয়া যায়। অ্যাল্‌ফা-গ্লিসেরোফসফেট ফ্যাট বা কার্বোহাইড্রেট সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয় অথবা গ্লাইকোলিসিসের মাধ্যমে ল্যাক্‌টেট উৎপন্ন করে (চিত্র 18.31)।

যকৃত, নার্ভতন্ত্র ও প্লীহায় স্ফিংগোমায়ালিনেজের ক্রিয়ায় স্ফিংগোমায়ালিনের জলবিশ্লেষ ঘটিয়া সের‍্যামাইড ও ফসফোকোলিন মুক্তিলাভ করে।

দেহের কলায় অবস্থিতি : মস্তিষ্ক, যকৃত, অগ্ন্যাশয়, হৃৎপেশী, সরেখ (striated) পেশী, বৃক্ক, নার্ভতন্তুর মায়ালিন আচ্ছাদনী প্রভৃতিতে ফসফোলিপিডের পরিমাণ অধিক। কোষঝিল্লী এবং ঝিল্লীবেষ্টিত কোষাঙ্গকগুলির (membrane-bound organelles) ঝিল্লীতে ফসফোলিপিড থাকে। স্তন্যপায়ীর কয়েকটি অঙ্গে ফসফোলিপিডের গড় পরিমাণ নিম্নরূপ (গ্রাম/100 গ্রাম) : সরেখ পেশী : 2, মস্তিষ্কের ধূসর বস্তু (grey matter) : 3.5, শ্বেত বস্তু (white matter) : 7.4, যকৃত : 3.1, অগ্ন্যাশয় : 2 ; লেসিথিন ও কেফালিন প্রধানতঃ যকৃত ও মস্তিষ্কে, স্ফিংগোমায়ালিন মুখ্যতঃ মস্তিষ্ক ও সুষুম্নাকাণ্ডে এবং নার্ভতন্তুর মায়ালিন আচ্ছাদনীতে, প্লাজমালোজেন প্রধানতঃ পেশী, মস্তিষ্ক, সুষুম্নাকাণ্ড ও মায়ালিন আচ্ছাদনীতে এবং কার্ডিওলিপিন শ্রেণীর নাইট্রোজেনবিহীন ফসফোলিপিড মুখ্যতঃ হৃৎপেশীর মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় থাকে। রক্তরসে ফসফোলিপিড প্রধানতঃ গ্লোবিউলিনের সহিত মিলিয়া নানা প্রকার লাইপোপ্রোটিনের আকারে বর্তমান (সারণী 18.1 ও 18.2 দ্রষ্টব্য)। বিভিন্ন শ্রেণীর ফসফোলিপিডের মধ্যে লেসিথিনের পরিমাণই রক্তরসে সর্বাধিক, কিন্তু লোহিত রক্তকণিকায় ইহার পরিমাণ কম ; পক্ষান্তরে লোহিত রক্তকণিকায় কেফালিনের পরিমাণই সর্বাধিক। লোহিত কণিকায় ফসফোলিপিডের মোট পরিমাণ রক্তরস হইতে অধিক।

18.9 স্ফিংগোলিপিড বিপাক

1. **স্ফিংগোমায়ালিন :** স্ফিংগোমায়ালিনের সংশ্লেষণ, অপচিতি ও কলায় তাহার অবস্থিতি সম্বন্ধে আলোচনা 18.8 প্রসঙ্গে দ্রষ্টব্য।

2. **সেরিব্রোসাইড :** সেরিব্রোন, নার্ভোন, কেরাসিন ও অক্সিনার্ভোন, এই চার শ্রেণীর সেরিব্রোসাইড উৎপাদনের জন্য মস্তিষ্কে বিভিন্ন অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় যথাক্রমে সেরিব্রোনিক, নার্ভোনিক, লিগ্‌নোসেরিক ও অক্সিনার্ভোনিক, এই চারপ্রকার C_{24} ফ্যাটি অ্যাসিড অ্যাসাইল-কো-এ অণু হইতে আসিয়া স্ফিংগোসিন অণুতে যুক্ত হয়, ফলে চার শ্রেণীর সেরামাইডের উৎপত্তি ঘটে। অতঃপর গ্যালাক্টোজ ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় ইউডিপি-গ্যালাক্টোজ (UDP-galactose) হইতে গ্যালাক্টোজ বর্গ সেরামাইডের প্রাইমারি অ্যালকোহল বর্গে স্থানান্তরিত হইলে সেরিব্রোসাইডের উদ্ভব হয় (চিত্র 17.24)।

মস্তিষ্কে গ্যালাক্টোসেরিব্রোসাইডেজ বা গ্যালাক্টোলাইপেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লেষের দ্বারা সেরিব্রোসাইডের ভাঙ্গন ঘটিয়া মুক্ত গ্যালাক্টোজ ও সেরামাইড উৎপন্ন হয়।

3. **সাল্‌ফাটিড :** মস্তিষ্কে সেরিব্রোসাইড সাল্‌ফোকাইনেজের ক্রিয়ায় 'সক্রিয়' সালফেট অর্থাৎ অ্যাডেনোসিন-3′-ফসফেট-5′-ফসফোসালফেট (পৃ. 164 দ্রষ্টব্য) হইতে সাল্‌ফেট বর্গটি সেরিব্রোসাইডের গ্যালাক্টোজ বর্গে যুক্ত হইলে সাল্‌ফাটিড উৎপন্ন হয় (চিত্র 16.2 ও 17.24)। আবার অপচিতির (catabolism) সময়ে মস্তিষ্কের সাল্‌ফাটিড সাল্‌ফেট হাইড্রোলেজের দ্বারা জলবিশ্লেষ ঘটিলে সাল্‌ফাটিড ভাঙ্গিয়া অজৈব সাল্‌ফেট এবং সেরিব্রোসাইড মুক্ত হইয়া যায়।

4. **গ্যাংগ্লিওসাইড :** মস্তিষ্কে ভিন্ন ভিন্ন ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় ইউডিপি-গ্লুকোজ (UDP-glucose), ইউডিপি-গ্যালাক্টোজ, সিএম্‌পি-সিয়ালিক অ্যাসিড (CMP-cialic acid), ইউডিপি-এন্‌-অ্যাসেটাইল-গ্যালাক্টোজঅ্যামাইন (UDP-N-acetylgalactosamine) প্রভৃতি অণু হইতে শর্করা বর্গগুলি বিশেষ ক্রম (sequence) অনুযায়ী সেরামাইড অণুতে স্থানান্তরিত হইতে গ্যাংগ্লিওসাইড উৎপন্ন হয় (চিত্র 17.25)। আবার গ্যাংগ্লিওসাইডেজ, হেক্সোজঅ্যামিনিডেজ, গ্যালাক্টোসিল হাইড্রোলেজ, গ্লুকোসেরিব্রোসাইডেজ প্রভৃতি এনজাইমের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইয়া গ্যাংগ্লিও-সাইডগুলি সেরামাইড ও নানাপ্রকার শর্করায় পরিণত হয়।

18.10 ফ্যাট সংশ্লেষণ

মেদকলা, স্তন, যকৃত প্রভৃতি কলায় ফ্যাট সংশ্লেষিত হয়।

ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষণ :

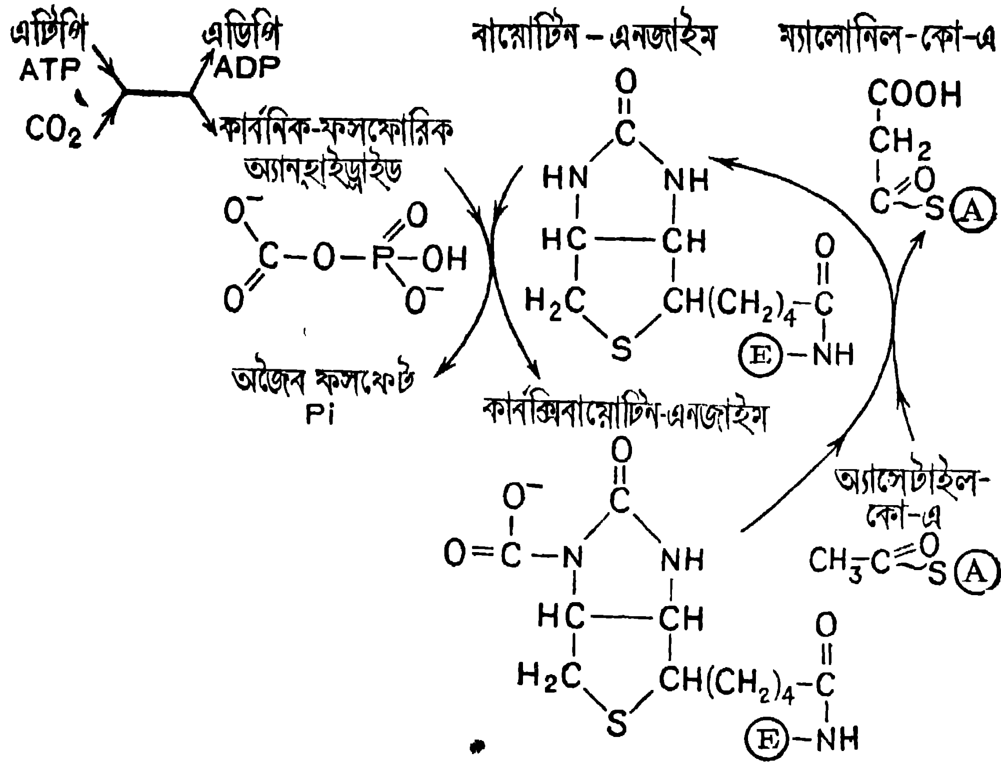
সংপৃক্ত যুগ্ম-কার্বন (even-C) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি সাইটোপ্লাজমে ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্থেটেজ নামক এনজাইম-সমষ্টির সাহায্যে অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে সংশ্লেষিত হয়। তাহা ছাড়া মাইটোকন্ড্রিয়া ও মাইক্রোজোমে যথাক্রমে অ্যাসেটাইল-কো-এ ও ম্যালোনিল-কো-এ অণুর সাহায্যে দুইটি করিয়া কার্বন যোগ করিয়া দীর্ঘাণু (long-chain) ফ্যাটি অ্যাসিডকে দীর্ঘতর করা যায়। আবার মাইক্রোজোমে ডিস্যাচুরেজ (desaturase) এনজাইমগুলির ক্রিয়ায় সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড হইতে অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে। অযুগ্ম-কার্বন (odd-C) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি যুগ্ম-কার্বন ফ্যাটি অ্যাসিডের অ্যাল্ফা-জারণের ফলে উৎপন্ন হয়; পক্ষান্তরে, যুগ্ম-কার্বন ফ্যাটি অ্যাসিডের ওমেগা-জারণের দ্বারা দুই-কার্বক্সিল-যুক্ত (dicarboxylic) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির উদ্ভব ঘটে (18.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

1. **সাইটোপ্লাজমীয় সংশ্লেষণ** : যকৃত, মেদকলা, স্তন প্রভৃতি কলার সাইটোপ্লাজমে ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্থেটেজ সিস্টেমের (fatty acid synthetase system) ক্রিয়ায় নূতনভাবে (de novo) অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণ ঘটে। স্তন্যপায়ী ও পাখির দেহে ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্থেটেজের অতিকায় অণুটি পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগ বা অ্যাল্ফা-কিটোগ্লুটারেট ডিহাইড্রোজেনেজ যৌগের মতই একাধিক এনজাইমের সমষ্টির মত কাজ করে এবং ইহার অণুতে বিভিন্ন বিক্রিয়ার সহায়ক অংশগুলিকে পরস্পর হইতে পৃথক করা যায় না।

ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষণের জন্য ব্যবহৃত অ্যাসেটাইল-কো-এ প্রধানতঃ দুইটি সূত্র হইতে আসে। প্রথমতঃ, মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতরে কার্বোহাইড্রেটের বায়ব বিপাকের ফলে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের প্রথম পদে উৎপন্ন সাইট্রিক অ্যাসিড অণু ট্রাইকার্বক্সিলেট বাহকের (tricarboxylate carrier) দ্বারা বাহিত হইয়া মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃঝিল্লী (inner membrane) অতিক্রম করিয়া সাইটোসলে আসে এবং সেখানে কোএনজাইম এ, এটিপি ও সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় বিশ্লিষ্ট হইয়া অক্সালোঅ্যাসিটেট ও অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপাদন করে (17.15 প্রসঙ্গ ও চিত্র 17.21 দ্রষ্টব্য)। রোমন্থক প্রাণী ব্যতীত অন্যান্য স্তন্যপায়ীর ক্ষেত্রে ইহাই সাইটোসলে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর মুখ্য

উৎস। দ্বিতীয়তঃ, সাইটোসলেই অ্যাসিটেট থায়োকাইনেজের ক্রিয়ায় এবং এটিপি-র সাহায্যে অ্যাসেটিক অ্যাসিডের মুক্ত অণুতে কোএনজাইম এ যুক্ত হইলে অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন হয়। রোমন্থক প্রাণীর পৌষ্টিক নালীতে সেলুলোজের ব্যাকটেরিয়া-ঘটিত কিণ্বনের (fermentation) ফলে উৎপন্ন অ্যাসেটিক অ্যাসিড অন্ত্র হইতে শোষিত হইয়া বিভিন্ন কলার সাইটোসলে এভাবে অ্যাসেটাইল-কো-এ আকারে পরিবর্তিত হয় এবং ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়।

কিছু কিছু অ্যাসেটাইল-কো-এ অণু সাইটোসলে অ্যাসেটাইল-কো-এ কার্বক্সিলেজ, বায়োটিন ও এটিপি-র সাহায্যে কার্বন ডাই-অক্সাইডের সহিত



চিত্র 18.32. অ্যাসেটাইল-কো-এ কার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে ম্যালোনিল-কো-এ উৎপাদন। E : কার্বক্সিলেজ এনজাইমের প্রোটিন অণু।

মিলিয়া ম্যালোনিল-কো-এ (malonyl-CoA) উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়ার সময়ে প্রথমতঃ এটিপি-র একটি ফসফেট বর্গ এবং বাইকার্বনেটের কার্বন ডাই-অক্সাইড অংশ মিলিয়া কার্বনিক-ফসফোরিক অ্যান্‌হাইড্রাইড উৎপন্ন হয়। শেষোক্ত বস্তুর কার্বন ডাই-অক্সাইড অংশ কার্বক্সিলেজের প্রস্থেটিক বা প্রোটিনেতর বর্গের বায়োটিনে স্থানান্তরিত হইলে উক্ত প্রোটিনেতর বর্গটি কার্বক্সিবায়োটিনে পরিণত হয় (চিত্র 18.32) ; অচিরে শেষোক্ত বর্গ হইতে

কার্বন ডাই-অক্সাইড অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুতে স্থানান্তরিত হইলে বায়োটিন পুনরুৎপন্ন হয় এবং অ্যাসেটাইল-কো-এ ম্যালোনিল-কো-এ অণুতে রূপান্তরিত হয়। ম্যালোনিল-কো-এ নিম্নলিখিত বিক্রিয়াগুলির মাধ্যমে ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়।

(*a*) ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্থেটেজ সিস্টেমের অ্যাসেটাইল ট্রান্সফেরেজ ও ম্যালোনিল ট্রান্সফেরেজ অংশের ক্রিয়ায় অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর অ্যাসেটাইল বর্গ এবং ম্যালোনিল-কো-এ অণুর ম্যালোনিল বর্গ যথাক্রমে উক্ত এনজাইম অণুর প্রান্তীয় (peripheral) ও কেন্দ্রীয় (central) সাল্ফ্হাইড্রিল বর্গদ্বয়ে স্থানান্তরিত হয়; ফলে অ্যাসেটাইল-ম্যালোনিল-এনজাইম যৌগের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 18.33)। প্রসঙ্গতঃ, সিন্থেটেজের অ্যাসাইল-বাহী (acyl-carrier) অংশে আবদ্ধ 4′-ফসফোপ্যান্টেথেইন নামক প্যান্টোথেনেট যৌগের সাল্ফ্হাইড্রিল বর্গই কেন্দ্রীয় সাল্ফ্হাইড্রিল বর্গরূপে কাজ করে। (*b*) অতঃপর সিন্থেটেজ সিস্টেমের বিটা-কিটোঅ্যাসাইল-এনজাইম সিন্থেজ অংশের প্রভাবে প্রান্তীয় সাল্ফ্হাইড্রিল হইতে অ্যাসেটাইল বর্গটি কেন্দ্রীয় সাল্ফ্হাইড্রিলে যুক্ত ম্যালোনিল বর্গের মধ্যম কার্বনে স্থানান্তরিত হয় এবং ম্যালোনিল বর্গের প্রান্তীয় কার্বক্সিল বর্গটি কার্বন ডাই-অক্সাইড আকারে বিচ্ছিন্ন হইয়া যায়; ফলে অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-এনজাইম যৌগের উৎপত্তি ঘটে। (*c*) শেষোক্ত বস্তুটির অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল অংশ সিন্থেটেজ সিস্টেমের বিটা-কিটোঅ্যাসাইল-এনজাইম রিডাক্টেজের ক্রিয়ায় এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH) হইতে হাইড্রোজেন লাভ করিয়া বিজারিত হইলে বিটা-হাইড্রক্সি-বিউটিরিল-এনজাইমের উদ্ভব ঘটে। (*d*) শেষোক্ত যৌগের বিটা-হাইড্রক্সি-বিউটিরিল বর্গ হইতে হাইড্রাটেজের ক্রিয়ায় এক অণু জল বাহির হইয়া গিয়া ট্রান্স-অ্যাল্ফা,বিটা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-এনজাইম উৎপন্ন হয়। (*e*) শেষোক্ত অণুটি অ্যাল্ফা,বিটা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-এনজাইম রিডাক্টেজের ক্রিয়ায় এন-এ-ডি-পি-এইচ হইতে হাইড্রোজেন লাভ করিয়া অ্যাসাইল-এনজাইম যৌগে পরিণত হয়। (*f*) অচিরে শেষোক্ত যৌগের অ্যাসাইল বর্গটি সিন্থেটেজের অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজ অংশের প্রভাবে কেন্দ্রীয় সাল্ফ্হাইড্রিল হইতে প্রান্তীয় সাল্ফ্হাইড্রিলে স্থানান্তরিত হয়। (*g*) ইহার পরে ম্যালোনিল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় নূতন একটি ম্যালোনিল বর্গ ম্যালোনিল-কো-এ হইতে কেন্দ্রীয় সাল্ফ্হাইড্রিলে গৃহীত হয়; অতঃপর উপরে (*b*) হইতে (*f*) পর্যন্ত বর্ণিত বিক্রিয়াগুলির পুনরাবৃত্তি ঘটে।

উল্লিখিত পদগুলির বারবার পুনরাবৃত্তির মাধ্যমে ক্রমে পামিটিল-এনজাইম

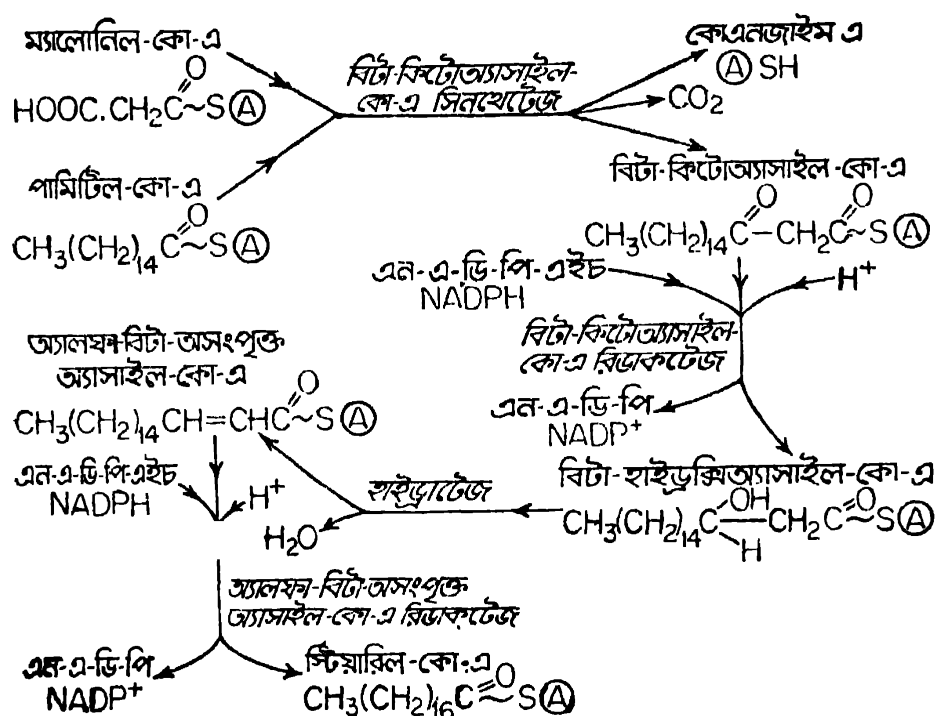
যৌগ উৎপন্ন হয়। সর্বশেষে শেষোক্ত যৌগের জলবিশ্লেষ ঘটিয়া পামিটিক অ্যাসিড ($C_{15}H_{31}COOH$) মুক্ত হইয়া যায় এবং ফ্যাট সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়।

অ্যাসেটাইল-কো-এ
$CH_3-C(=O)\sim S(A)$
অ্যাসেটাইল ট্রান্সফেরেজ
কোএনজাইম এ
(A) SH
ম্যালোনিল-কো-এ
$HOOC-CH_2-C(=O)\sim S(A)$
ফ্যাটি অ্যাসিড সিনথেটেজ
(E) SH, SH
অ্যাসেটাইল-এনজাইম
(E) $S\sim C(=O)-CH_3$, SH
ম্যালোনিল ট্রান্সফেরেজ
কোএনজাইম এ
CO_2
অ্যাসেটাইল-ম্যালোনিল এনজাইম
(E) $S\sim C(=O)-CH_3$, $S\sim C(=O)-CH_3COOH$
অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল এনজাইম
বিটা-কিটোঅ্যাসাইল এনজাইম সিনথেজ
(E) SH, $S\sim C(=O)-CH_2-C(=O)-CH_3$
বিটা-হাইড্রক্সিবিউটিরিল এনজাইম
এন-এ-ডি-পি-এইচ NADPH
বিটা-কিটোঅ্যাসাইল এনজাইম রিডাকটেজ
H^+
(E) SH, $S\sim C(=O)-CH_2-CH(OH)\cdot CH$
এন-এ-ডি-পি $NADP^+$
হাইড্রাটেজ
H_2O
অ্যাসাইল-এনজাইম
(E) SH, $S\sim C(=O)-CH_2CH_2CH_3$
অ্যালফা, বিটা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-এনজাইম রিডাকটেজ
H^+
ট্রান্স-অ্যালফা, বিটা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-এনজাইম
(E) SH, $S\sim C(=O)-CH-CH-CH_3$
অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজ
এন-এ-ডি-পি $NADP^+$
এন-এ-ডি-পি-এইচ NADPH
অ্যাসাইল-এনজাইম
(E) $S\sim C(=O)-CH_2CH_2CH_3$, SH
ম্যালোনিল ট্রান্সফেরেজ
কোএনজাইম এ
অ্যাসাইল-ম্যালোনিল এনজাইম
ম্যালোনিল-কো-এ
$HOOC-CH_2-C(=O)\sim S(A)$
(E) $S\sim C(=O)-CH_2CH_2CH_3$, $S\sim C(=O)-CH_2COOH$
H_2O
পামিটিল-এনজাইম
ডিঅ্যাসাইলেজ
(E) SH, $S\sim C(=O)(CH_2)_{14}CH_3$
(E) SH, SH
পামিটিক অ্যাসিড
$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
SH: প্রান্তীয় SH বর্গ,
SH: কেন্দ্রীয় SH বর্গ

চিত্র 18.33. ফ্যাটি অ্যাসিড সিনথেটেজের ক্রিয়ায় ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণ।

উপরি-উক্ত (*c*) এবং (*e*) পদের বিক্রিয়াগুলির জন্য প্রয়োজনীয় এন-এ-ডি-পি-এইচ পেণ্টোজ ফসফেট পথের ডিহাইড্রোজেনেজগুলির এবং ম্যালিক এনজাইমের ক্রিয়ায় এন-এ-ডি-পি অণুর বিজারণের ফলে উৎপন্ন হয় (17.15 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

2. **মাইক্রোজোমে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি :** পূর্ব হইতেই বর্তমান 10-18টি কার্বন-বিশিষ্ট (C_{10}—C_{18}) দীর্ঘাণু ফ্যাটি অ্যাসিডের অণুতে ম্যালোনিল-কো-এ হইতে C_2-বর্গ স্থানান্তরিত করিয়া মাইক্রোজোমে ফ্যাটি অ্যাসিড অণুর দৈর্ঘ্য বাড়ানো হয় (চিত্র 18.34)। (*a*) প্রথমে পুরাতন ফ্যাটি অ্যাসাইল-কো-এ

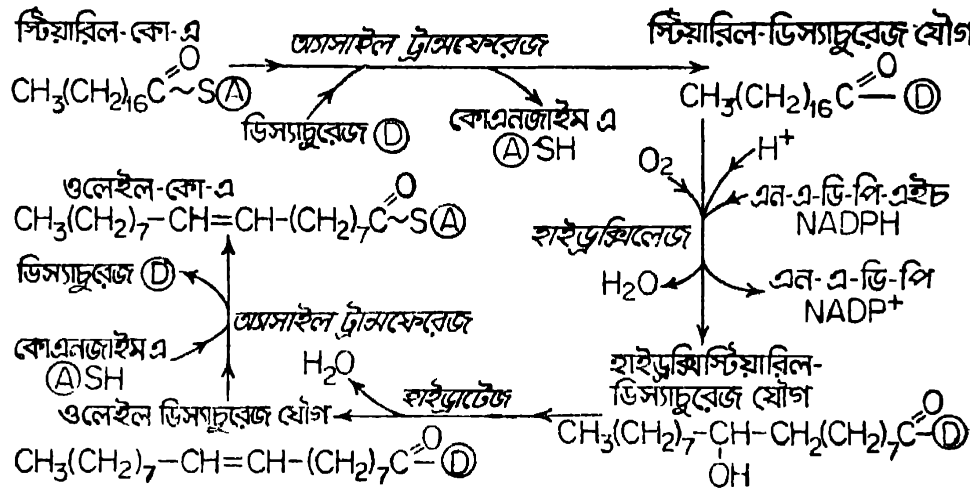


চিত্র 18.34. মাইক্রোজোমে ফ্যাটি অ্যাসিডের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি।

অণুতে বিটা-কিটোঅ্যাসাইল কো-এ সিন্‌থেটেজের ক্রিয়ায় ম্যালোনিল-কো-এ হইতে অ্যাসেটাইল বর্গটি যুক্ত হয়, ফলে বিটা-কিটোঅ্যাসাইল-কো-এ উৎপন্ন হয় এবং কার্বন ডাই-অক্সাইড ও কোএনজাইম এ মুক্ত হইয়া যায়। (*b*) বিটা-কিটো-অ্যাসাইল-কো-এ রিডাকৃটেজ এবং এন-এ-ডি-পি-এইচ বিটা-কিটো-অ্যাসাইল-কো-এ অণুর বিজারণ ঘটাইয়া বিটা-হাইড্রক্সিঅ্যাসাইল-কো-এ উৎপন্ন করে। (*c*) হাইড্রাটেজের ক্রিয়ায় জল হারাইয়া শেষোক্ত বস্তুটি অ্যালফা-বিটা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-কো-এ অণুতে পরিণত হয়। (*d*) অ্যালফা-বিটা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-কো-এ রিডাকৃটেজ ও এন-এ-ডি-পি-এইচ অসংপৃক্ত

অ্যাসাইল-কো-এ অণুটিকে বিজারিত করিয়া সূচনার তুলনায় দুই-কার্বন বৃহত্তর ও সংপৃক্ত অ্যাসাইল-কো-এ অণুতে পরিণত করে।

3. **অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণ** : যকৃতকোষের মাইক্রোজোমে ডিস্যাচুরেজ এনজাইম-সমষ্টির ক্রিয়ায় সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড হইতে ওলেইক (oleic) ও অন্যান্য কতকগুলি অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষিত হয়। (*a*) প্রথমে অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় সংপৃক্ত অ্যাসাইল-কো-এ (যথা, স্টিয়ারিল-কো-এ) হইতে অ্যাসাইল বর্গটি ডিস্যাচুরেজ এনজাইমের অণুতে স্থানান্তরিত হয়। (*b*) ইহার ফলে যে অ্যাসাইল-এনজাইম যৌগের উৎপত্তি ঘটে, তাহার অ্যাসাইল অংশে উক্ত এনজাইম-সমষ্টির হাইড্রক্সিলেজ, আণব (molecular) অক্সিজেন এবং এন-এ-ডি-পি-এইচের সাহায্যে হাইড্রক্সিল বর্গ যুক্ত হইলে হাইড্রক্সিঅ্যাসাইল-এনজাইমের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 18.35)।



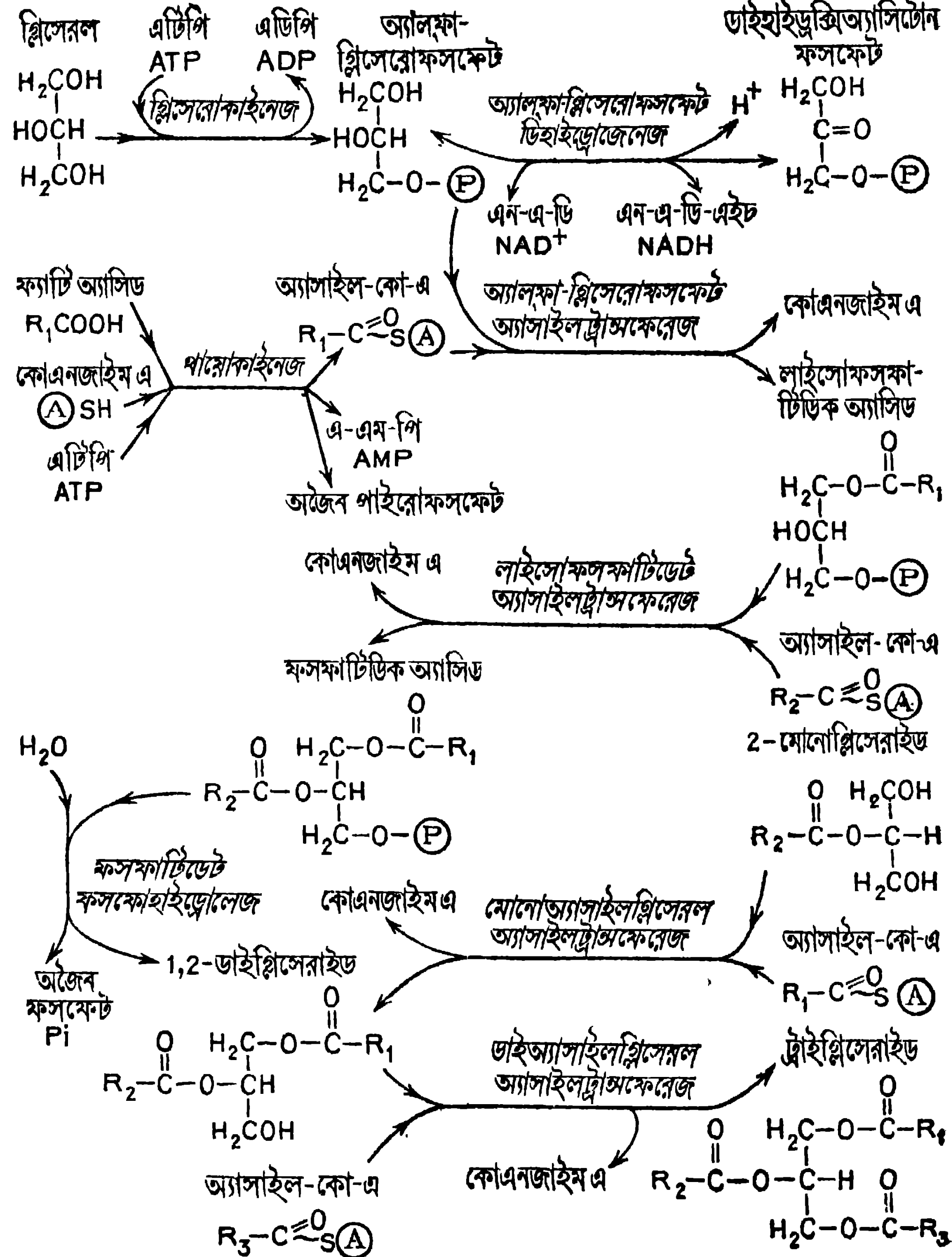
চিত্র 18.35. অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণ।

(*c*) ডিস্যাচুরেজের হাইড্রাটেজ অংশের ক্রিয়ায় এক অণু জল মুক্ত হইয়া গিয়া হাইড্রক্সিঅ্যাসাইল-এনজাইম অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-এনজাইমে পরিণত হয়। (*d*) শেষোক্ত বস্তুর অসংপৃক্ত অ্যাসাইল বর্গটি অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় কোএনজাইম এ অণুতে স্থানান্তরিত হইলে অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-কো-এ (যথা, ওলেইল-কো-এ) উৎপন্ন হয় এবং তাহা ফ্যাট সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়।

ট্রাইগ্লিসেরাইড ফ্যাটের সংশ্লেষণ :

যকৃত, স্তন, ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী, পেশী, মেদকলা (adipose tissue) প্রভৃতি কলার মাইক্রোজোম বা এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলামে এবং অল্প

পরিমাণে মাইটোকনড্রিয়ায় ট্রাইগ্লিসেরাইড ফ্যাট বা স্নেহপদার্থ সংশ্লেষিত হইয়া থাকে। (*a*) যকৃত, বাদামী মেদকলা (brown adipose tissue) ও স্তনে গ্লিসেরোকাইনেজের ক্রিয়ায় এ়টিপি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া গ্লিসেরল অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেটে পরিণত হয়; কিন্তু শ্বেত মেদকলা, পেশী ও ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে গ্লাইকোলিসিসের ফলে উৎপন্ন ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন



চিত্র 18.36. ট্রাইগ্লিসেরাইডের সংশ্লেষণ।

ফসফেট এন-এ-ডি-এইচ ও অ্যাল্‌ফা-গ্লিসেরোফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় বিজারিত হইলে অ্যাল্‌ফা-গ্লিসেরোফসফেটের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 18.36)। (*b*) ফ্যাটি অ্যাসিড থায়োকাইনেজের প্রভাবে ও এটিপি-র সাহায্যে ফ্যাটি অ্যাসিড ও কোএনজাইম এ মিলিত হইয়া অ্যাসাইল-কো-এ উৎপন্ন করে। (*c*) অ্যাল্‌ফা-গ্লিসেরোফসফেট অ্যাসাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় একটি অ্যাসাইল-কো-এ অণু হইতে ফ্যাটি অ্যাসিড বা অ্যাসাইল বর্গটি অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেটে স্থানান্তরিত হইলে লাইসোফসফাটিডিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। অবশ্য মাইটোকন্ড্রিয়ায় **ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট পথ** নামক বিকল্প পদ্ধতিতে ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট অ্যাসাইলট্রান্সফেরেজের দ্বারা অল্পস্বল্প ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট অণুতে অ্যাসাইল-কো-এ হইতে অ্যাসাইল বর্গটি স্থানান্তরিত হয়, ফলে 1-অ্যাসাইল ডাইহাইড্রক্সি-অ্যাসিটোন ফসফেট উৎপন্ন হয় এবং এন-এ-ডি-পি-এইচ ও রিডাক্‌টেজের ক্রিয়ায় তাহার বিজারণ ঘটিয়া লাইসোফস্‌ফাটিডেট তৈয়ারি হয়। (*d*) লাইসো-ফসফাটিডেট অ্যাসাইলট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় দ্বিতীয় একটি অ্যাসাইল-কো-এ হইতে অ্যাসাইল বর্গটি লাইসোফসফাটিডিক অ্যাসিডের গ্লিসেরল অংশের দ্বিতীয় কার্বনে (C^2) যুক্ত হইলে ফস্‌ফাটিডিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে। (*e*) ফসফাটিডেট ফস্‌ফোহাইড্রোলেজের দ্বারা ফস্‌ফাটিডিক অ্যাসিডের জলবিশ্লেষ ঘটিয়া 1,2-ডাইগ্লিসেরাইড (1,2-ডাইঅ্যাসাইলগ্লিসেরল) উৎপন্ন হয়। (*f*) সর্বশেষে ডাইঅ্যাসাইলগ্লিসেরল অ্যাসাইলট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় তৃতীয় একটি অ্যাসাইল-কো-এ অণুর অ্যাসাইল বর্গটি 1,2-ডাই-গ্লিসেরাইডের গ্লিসেরল অংশের তৃতীয় কার্বনে (C^3) স্থানান্তরিত হইলে উহা ট্রাইগ্লিসেরাইড বা ট্রাইঅ্যাসাইলগ্লিসেরলে পরিণত হয়।

ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে **আন্ত্রিক মোনোগ্লিসেরাইড শান্ট** (intestinal monoglyceride shunt) নামক বিকল্প পদ্ধতিতে 2-মোনোগ্লিসেরাইডের গ্লিসেরল অংশের প্রথম কার্বনে (C^1) মোনোঅ্যাসাইলগ্লিসেরল অ্যাসাইলট্রান্স-ফেরেজের ক্রিয়ায় অ্যাসাইল-কো-এ হইতে একটি অ্যাসাইল বর্গ আসিয়া যুক্ত হয় ; ফলে 2-মোনোগ্লিসেরাইড 1,2-ডাইগ্লিসেরাইডে পরিণত হয় (চিত্র 18.36)। পূর্ববর্তী ছত্রের (*f*) সংখ্যাক বিক্রিয়ার সাহায্যে শেষোক্ত বস্তুটি ট্রাইগ্লিসে-রাইড উৎপন্ন করে।

18.11 কোলেস্টেরল বিপাক

উৎস : ডিমের কুসুমে যথেষ্ট কোলেস্টেরল থাকে। চর্বিযুক্ত মাংস,

মস্তিষ্ক, বৃক্ক প্রভৃতি হইতেও অল্পাধিক কোলেস্টেরল পাওয়া যায়। উদ্ভিজ্জ খাদ্যে ইহার অস্তিত্ব নাই। খাদ্য হইতে আহৃত কোলেস্টেরল ব্যতীত যকৃত, ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্র, ত্বক, শুক্রাশয় (testis), ডিম্বাশয় (ovary), অ্যাড্রেন্যালের বাহ্যাংশ (cortex) প্রভৃতি কলায় সংশ্লেষিত কোলেস্টেরলও দেহে ব্যবহৃত হয়।

ক্রিয়া :

1. **ভিটামিন ডি$_3$ সংশ্লেষণ** : ত্বকে কোলেস্টেরল সংশ্লেষিত হইয়া 7-ডিহাইড্রোকোলেস্টেরলে পরিবর্তিত হয়। সূর্যালোকের অতিবেগুনী (ultraviolet) রশ্মির প্রভাবে শেষোক্ত বস্তুটি ভিটামিন ডি$_3$ অর্থাৎ কোলে-ক্যাল্‌সিফেরলে পরিণত হয়।

2 **পিত্তলবণ সংশ্লেষণ** : যকৃতে কোলেস্টেরল হইতে গ্লাইকোকোলেট, টওরোকোলেট প্রভৃতি পিত্তলবণ সংশ্লেষিত হইয়া রক্তে ক্ষরিত হয়। যকৃত-কোষের মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় কোলেস্টেরল জারিত (oxidized), হাইড্রক্সিল-যুক্ত ও কোএনজাইম এ অণুর সহিত মিলিত হইয়া কোলিল-কো-এ (কোলিক অ্যাসিড-কোএনজাইম এ যৌগ) উৎপাদন করে। শেষোক্ত বস্তুটির সহিত গ্লাইসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড অথবা টওরিন নামক গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনের মিলনে যথাক্রমে গ্লাইকোকোলিক ও টওরোকোলিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে এবং কোএনজাইম এ মুক্ত হয়।

3. **স্টেরয়েড হর্মোন সংশ্লেষণ** : শুক্রাশয় (testis), ডিম্বাশয় (ovary) এবং অ্যাড্রেন্যালের বাহ্যাংশে (cortex) কোলেস্টেরল অক্সিডেজের ক্রিয়ায় কোলেস্টেরল জারিত হইয়া প্রেগ্‌নেনোলোন নামক স্টেরয়েডে পরিণত হয়। বিভিন্ন হাইড্রক্সিলেজের ক্রিয়ায় প্রেগ্‌নেনোলোন হইতে উপরি-উক্ত গ্রন্থিগুলিতে নানাপ্রকার স্টেরয়েড হর্মোনের উৎপত্তি ঘটে।

4. **প্রাণিকোষের গঠন** : কোলেস্টেরল সকল প্রাণিকোষের অপরিহার্য উপাদান। কোষঝিল্লীর পারগম্যতা (permeability) ও অন্য বহু ভৌত (physical) ও রাসায়নিক গুণ কোলেস্টেরলের প্রভাবাধীন।

5. **চর্বিসঞ্চালনে ভূমিকা** : কোলেস্টেরলের আধিক্যে অপরিহার্য (essential) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির অধিকাংশই কোলেস্টেরল এস্টারে আবদ্ধ হইয়া যায়; ফলে অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডের অভাব ঘটিয়া যকৃতে ফসফোলিপিড ও অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনের (VLDL) সংশ্লেষণ হ্রাস

পায় এবং ট্রাইগ্লিসেরাইড ফ্যাট যকৃতেই জমিয়া গিয়া তাহাকে চর্বিভারাক্রান্ত করে। অন্যদিকে অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন এবং কোলেস্টেরল এস্টার উৎপাদনে অংশ লইয়া কোলেস্টেরল রক্তরসে ফ্যাট ও ফ্যাটি অ্যাসিড পরিবহনেও সাহায্য করে।

6. নার্ভের ক্রিয়ায় সহায়তা : নার্ভতন্তুর মায়ালিন আচ্ছাদনীতে কুপরিবাহী (poor conductor) কোলেস্টেরলের উপস্থিতি নার্ভতন্তুকে অন্তরিত (insulated) রাখিয়া বিভবপ্রবাহের (nerve impulse) শক্তি ও গতিকে অব্যাহত রাখে।

শোষণ, পরিবহন ও সঞ্চয় :

খাদ্যের কোলেস্টেরল এস্টারগুলি অন্ত্রে পিত্তলবণের উপস্থিতিতে অগ্ন্যাশয়-রসের কোলেস্টেরল এস্টারেজের দ্বারা জলবিশ্লিষ্ট হইয়া মুক্ত কোলেস্টেরল ও ফ্যাটি অ্যাসিড দান করে। ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবরে পিত্তলবণ প্রভৃতির ক্রিয়ার যে জলদ্রাব্য চর্বিকণিকা বা মিসেলগুলি (micelles) উৎপন্ন হয়, কোলেস্টেরলও সেগুলির অন্তর্ভুক্ত হইয়া যায় এবং সেই আকারেই ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষিত হয়। ক্ষুদ্রান্ত্রগাত্রের কোষমধ্যে অধিকাংশ কোলেস্টেরল ফ্যাটি অ্যাসিডের সহিত মিলিয়া আবার কোলেস্টেরল এস্টারে পরিণত হয়। মুক্ত ও এস্টাররূপী, উভয় প্রকার কোলেস্টেরলই ক্ষুদ্রান্ত্র-কোষে কাইলোমাইক্রন কণায় যুক্ত হয়—কাইলোমাইক্রনের মোট লিপিডের যথাক্রমে প্রায় 1% ও 4% মুক্ত ও এস্টার-রূপী কোলেস্টেরল। কাইলোমাইক্রন কণাগুলি ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে লসিকার মাধ্যমে রক্তে আসে। আবার যকৃতে সংশ্লেষিত কোলেস্টেরল এবং রক্তরস হইতে আহৃত কোলেস্টেরল ও তাহার এস্টারগুলি যকৃত-কোষে উচ্চ ঘনত্বের ও অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন কণাগুলিতে যুক্ত হইয়া সেই সকল আকারে রক্তে প্রবেশ করে।

প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তরসে প্রায় 120-260 মিলিগ্রাম কোলেস্টেরল থাকে ; ইহার প্রায় $\frac{1}{4}$ মুক্ত কোলেস্টেরল ও প্রায় $\frac{3}{4}$ কোলেস্টেরল এস্টার। পক্ষান্তরে প্রতি 100 মিলিলিটার ঘনসন্নিবিষ্ট (packed) লোহিত কণিকায় প্রায় 120-150 মিলিগ্রাম কোলেস্টেরল মুখ্যতঃ মুক্ত আকারে বর্তমান। রক্তরসে কোলেস্টেরল ও তাহার এস্টারগুলি প্রধানতঃ নানাপ্রকার লাইপো-প্রোটিনের আকারেই বাহিত হইয়া থাকে (সারণী 18.2 দ্রষ্টব্য)। বিভিন্ন কলায় লাইপোপ্রোটিন লাইপেজের ক্রিয়ায় রক্তরসের কাইলোমাইক্রন ও অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন কণাগুলি হইতে অধিকাংশ ট্রাইগ্লিসেরাইড

অপসারিত হইয়া যাওয়ার পরে যে কণাবশেষগুলি (remnants) পড়িয়া থাকে, সেগুলি হইতে কোলেস্টেরল ও তাহার এস্টার যকৃত-কোষে গৃহীত হয় (18.2 ও 18.3 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

মধুমেহ রোগে (diabetes mellitus), গর্ভধারণকালে অথবা খাদ্যে দীর্ঘাণু সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের আধিক্য থাকিলে রক্তরসে কোলেস্টেরল বাড়িতে পারে। খাদ্যে অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড বা অপরিহার্য (essential) ফ্যাটি অ্যাসিড অধিক থাকিলে রক্তরসে কোলেস্টেরল হ্রাস পায়। থাইরয়েড হর্মোনের অতিক্ষরণজনিত রোগেও রক্তরসে কোলেস্টেরল কমিয়া যায়।

স্বাভাবিক মানবদেহের কয়েকটি রসে কোলেস্টেরলের পরিমাণ (মিলিগ্রাম/ ডেসিলিটার) নিম্নরূপ : লসিকা : 55-75 ; পিত্তাশয়ের পিত্ত : 300-900 ; প্রস্টেটের রস : 60-105 ; সিবাম (প্রতি গ্রামে) : 25-70। মস্তিষ্ক, অ্যাড্রেন্যাল, সুষুম্নাকাণ্ড প্রভৃতি অঙ্গে অধিক কোলেস্টেরল থাকে। নার্ভকলার মোট কঠিন পদার্থের প্রায় 10% কোলেস্টেরল ; মায়ালিন আচ্ছাদনীতে ইহার পরিমাণ যথেষ্ট। মস্তিষ্কের 2-3% কোলেস্টেরল—শ্বেত বস্তুতে (white matter) প্রায় 4% কোলেস্টেরল থাকে এবং ইহা ধূসর বস্তুর (grey matter) তুলনায় প্রায় 4 গুণ। বৃক্ক, ত্বক, প্লীহা (spleen) প্রভৃতি অঙ্গে কোলেস্টেরল নার্ভকলা অপেক্ষা কম, কিন্তু অন্যান্য কলা অপেক্ষা অধিক। বিভিন্ন প্রকার পেশীতে স্তন ও যকৃত অপেক্ষা কম কোলেস্টেরল থাকে—স্তন্যপায়ীর দেহ হইতে সদ্য সংগৃহীত সরেখ (striated) পেশীতে প্রায় 1% কোলেস্টেরল মুক্ত ও এস্টার আকারে বর্তমান।

রেচন :

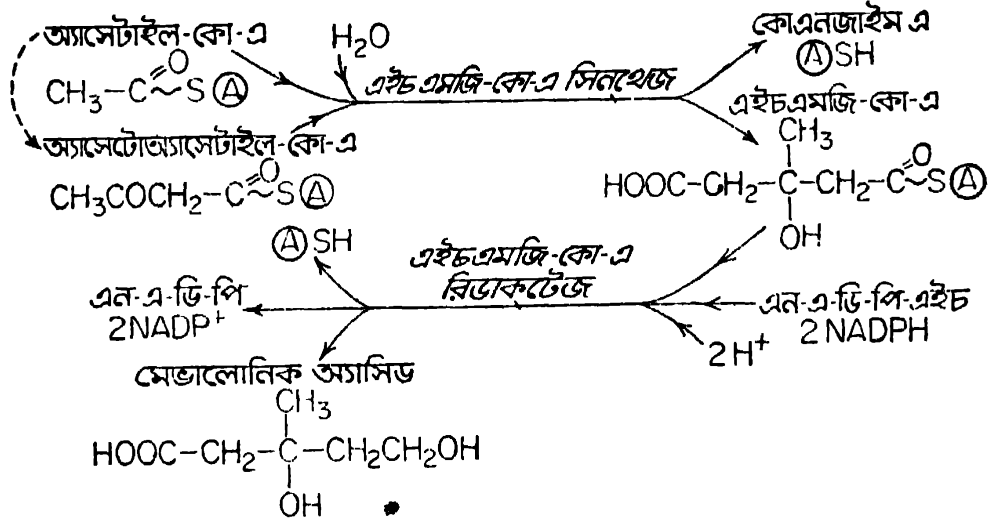
কোলেস্টেরল প্রধানতঃ মলে, কিছু পরিমাণে ত্বকের তৈলাক্ত সিবামে (scbum) এবং অত্যল্প পরিমাণে মূত্রে বাহির হয়। মল ও সিবামে দিনে যথাক্রমে প্রায় 400 ও 100 মিলিগ্রাম স্টেরল রেচিত হয়।

যকৃতই দেহ হইতে সর্বাধিক কোলেস্টেরল রেচন করে—যকৃতের প্রতি 100 মিলিলিটার পিত্তে প্রায় 110 মিলিগ্রাম কোলেস্টেরল থাকে। পিত্তের কোলেস্টেরল অংশতঃ যকৃত-কোষেই সংশ্লেষিত হয় এবং অংশতঃ যকৃত-কোষ কর্তৃক রক্তরস হইতে সংগৃহীত হয়। পিত্তাশয়ে পিত্ত সঞ্চিত থাকার সময়ে জল শোষিত হইয়া পিত্ত গাঢ়তর হয়, ফলে অন্ত্রে নিঃসৃত পিত্তের প্রতি 100 মিলিলিটারে গড়ে প্রায় 560 মিলিগ্রাম কোলেস্টেরল থাকে। যকৃতে কোলেস্টেরল হইতে সংশ্লেষিত পিত্তলবণগুলিও পিত্তে ক্ষরিত হয় এবং

তাহারাও অল্পস্বল্প পরিমাণে মলে রেচিত হয়। পিত্তলবণ ও লেসিথিনের প্রভাবে কোলেস্টেরল পিত্তে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। যকৃত ব্যতীত ক্ষুদ্রান্ত্রগারের কোষগুলিও অল্প পরিমাণে কোলেস্টেরলকে মলে বাহির করিয়া দেয়। মলাশয়ে জীবাণুঘটিত পচনের (putrefaction) ফলে মলের কোলেস্টেরলের অধিকাংশ বিজারিত (reduced) হইয়া কপ্রোস্ট্যানল ও কোলেস্ট্যানলে পরিণত হয়।

সংশ্লেষণ :

স্বাভাবিক অবস্থায় দিনে প্রায় 0.75-1 গ্রাম কোলেস্টেরল যকৃত, ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী (intestinal mucosa), শুক্রাশয় (testis), ডিম্বাশয় (ovary), অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্স, ত্বক, মহাধমনী (aorta), বৃক্ক প্রভৃতি অঙ্গে মাইটোকন্ড্রিয়ার বাহিরে অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে সংশ্লেষিত হয়। ইহার সংশ্লেষণ প্রধানতঃ তিনটি পর্যায়ে ঘটিয়া থাকে।



চিত্র 18.37. মেভালোনেট সংশ্লেষণ।

(a) **মেভালোনেট সংশ্লেষণ :** দুইটি অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর পরস্পর বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন একটি অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ অণু (18.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর সহিত মিলিত হইয়া এক অণু বিটা-হাইড্রক্সি-বিটা-মিথাইলগ্লুটারিল-কো-এ (এইচএমজি-কো-এ, HMG-CoA) উৎপন্ন করে এবং এক অণু কোএনজাইম এ মুক্ত হইয়া যায়। এই বিক্রিয়াটি মাইক্রোজোমের এইচএমজি-কো-এ সিনথেজ (HMG-CoA synthase) এনজাইমের ক্রিয়ায় ঘটিয়া থাকে (চিত্র 18.37)। ইহার পরে এন-এ-ডি-

পি-এইচ (NADPH) ও এইচএমজি-কো-এ রিডাক্টেজের ক্রিয়ায় এইচএমজি-কো-এ বিজারিত হইলে কোএনজাইম এ মুক্ত হইয়া যায় এবং মেভালোনিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে। এইচএমজি-কো-এ রিডাক্টেজ কোলেস্টেরল সংশ্লেষণের **গতিনিয়ন্ত্রক এনজাইম** (rate-limiting enzyme) রূপে বিবেচিত হয়। উপবাস, রক্তে কোলেস্টেরলের মাত্রাধিক্য, ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে রক্তে শোষিত পিত্তলবণ, অথবা গ্লুকাগন বা কর্টিসলের প্রভাবে এই এনজাইমটির ক্রিয়া হ্রাস পাইয়া কোলেস্টেরলের সংশ্লেষণ কমিয়া যায়; আবার মধুমেহ রোগে যকৃতে এই এনজাইমটির ক্রিয়া রক্তে কোলেস্টেরলের আধিক্য সত্ত্বেও কমে না বলিয়া সে সময়ে কোলেস্টেরলের অনিয়ন্ত্রিত ও অত্যধিক সংশ্লেষণ ঘটিয়া রক্তে উহার মাত্রাধিক্যের প্রবণতা ঘটে।

(b) **মেভালোনেট হইতে স্কোয়ালিন সংশ্লেষণ**: মেভালোনেট কাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি হইতে একটি ফসফেট বর্গ মেভালোনিক অ্যাসিডের পঞ্চম কার্বনের হাইড্রক্সিল বর্গে যুক্ত হইলে মেভালোনেট-5-ফসফেট উৎপন্ন হয়। ফসফোমেভালোনেট কাইনেজের প্রভাবে শেষোক্ত বস্তুর ফসফেট বর্গের সহিত এটিপি হইতে আনীত দ্বিতীয় একটি ফসফেট বর্গের মিলন ঘটিলে মেভালোনেট-5-পাইরোফসফেটের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 18.38)। তৃতীয় একটি কাইনেজের প্রভাবে শেষোক্ত বস্তুর তৃতীয় কার্বনে এটিপি হইতে আরও একটি ফসফেট বর্গ আসিয়া যুক্ত হইলে 3-ফসফোমেভালোনেট-5-পাইরোফসফেট পাওয়া যায় এবং তাহা পাইরোফসফোমেভালোনেট ডিকার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় কার্বন ডাই-অক্সাইড ও অজৈব ফসফেট হারাইয়া আইসোপেন্টেনিল পাইরোফসফেটে পরিণত হয়। শেষোক্ত আইসোপ্রেনয়েড-জাতীয় বস্তুটির কিছু কিছু অণু একটি আইসোমেরেজের ক্রিয়ায় ডাইমিথাইলঅ্যালিল পাইরোফসফেটে রূপান্তরিত হয়। অতঃপর জেরানিল পাইরোফসফেট সিন্‌থেটেজের ক্রিয়ায় এক অণু আইসোপেন্টেনিল পাইরোফসফেট ও এক অণু ডাইমিথাইল-অ্যালিল পাইরোফসফেটের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া অজৈব পাইরোফসফেট ও জেরানিল পাইরোফসফেটের উৎপত্তি ঘটে। শেষোক্ত বস্তুটি ফার্নেসিল পাইরোফসফেট সিন্‌থেটেজের ক্রিয়ায় আরও এক অণু আইসোপেন্টেনিল পাইরোফসফেটের সহিত মিলিয়া ফার্নেসিল পাইরোফসফেট উৎপাদন করে। সর্বশেষে এন-এ-ডি-পি-এইচ ও স্কোয়ালিন সিন্‌থেটেজের ক্রিয়ায় দুই অণু ফার্নেসিল পাইরোফসফেট বিজারিত হইয়া, পাইরোফসফেট ত্যাগ করিয়া এবং পরস্পর মিলিয়া স্কোয়ালিন উৎপন্ন করে।

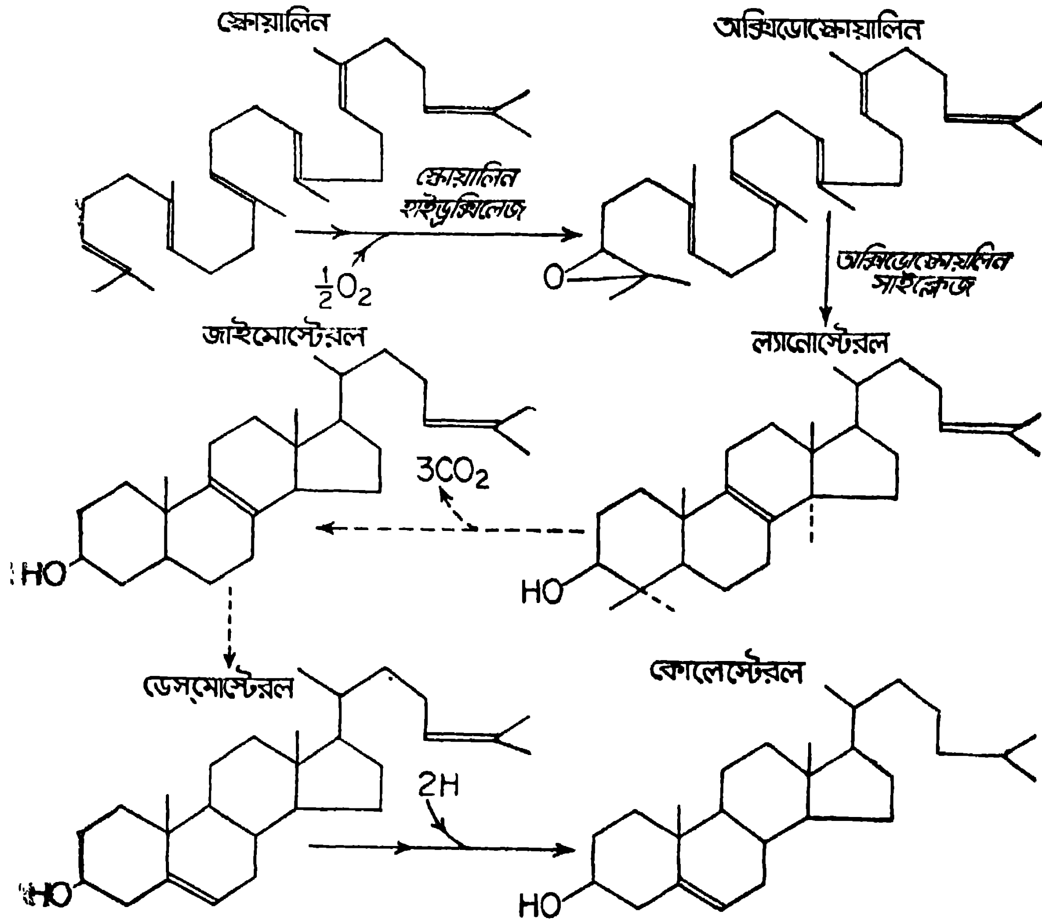
(c) স্কোয়্যালিন হইতে কোলেস্টেরল সংশ্লেষণ : মাইক্রোজোমের স্কোয়্যালিন হাইড্রক্সিলেজের ক্রিয়ায় স্কোয়ালিন অণুতে আণব (molecular) অক্সিজেন যুক্ত হইলে অক্সিডোস্কোয়্যালিন উৎপন্ন হয় এবং অক্সিডোস্কোয়্যালিন

এটিপি
মেভালোনিক অ্যাসিড
মেভালোনেট কাইনেজ
মেভালোনেট-5-ফসফেট
$HOOC-CH_2-C(CH_3)(OH)-CH_2CH_2OH$
এডিপি
$HOOC-CH_2-C(CH_3)(OH)-CH_2CH_2-O-Ⓟ$
ফসফো-মেভালোনেট কাইনেজ
এটিপি
এডিপি
এডিপি
এটিপি
কাইনেজ
3-ফসফোমেভালোনেট-5-পাইরোফসফেট
$HOOC-CH_2-C(CH_3)(O-Ⓟ)-CH_2CH_2-O-Ⓟ\sim Ⓟ$
মেভালোনেট-5-পাইরোফসফেট
$HOOC-CH_2-C(CH_3)(OH)-CH_2CH_2-O-Ⓟ\sim Ⓟ$
ডিকার্বক্সিলেজ
অজৈব ফসফেট Pi
CO_2
আইসোপেন্টেনিল পাইরোফসফেট
আইসোমেরেজ
3,3-ডাইমিথাইলঅ্যালিল পাইরোফসফেট
$H_2C=C(CH_3)-CH_2-CH_2-O-Ⓟ\sim Ⓟ$
$H_3C-C(CH_3)=CH-CH_2-O-Ⓟ\sim Ⓟ$
জেরানিল পাইরোফসফেট সিনথেটেজ
জেরানিল পাইরোফসফেট
অজৈব পাইরোফসফেট PPi
O-Ⓟ~Ⓟ
ফার্নেসিল পাইরোফসফেট সিনথেটেজ
PPi
ফার্নেসিল পাইরোফসফেট
O-Ⓟ~Ⓟ
স্কোয়ালিন
স্কোয়ালিন সিনথেটেজ
ফার্নেসিল পাইরোফসফেট
H^+
এন-এ-ডি-পি-এইচ NADPH
এন-এ-ডি-পি $NADP^+$
2PPi

চিত্র 18.38. মেভালোনেট হইতে স্কোয়ালিন সংশ্লেষণ।

সাইক্লেজের ক্রিয়ায় ঐ অণুটির উন্মুক্ত কার্বন-কঙ্কাল (carbon skeleton) বলয়ের আকারে আবদ্ধ হইয়া ল্যানোস্টেরল উৎপাদন করে (চিত্র 18.39)। শেষোক্ত বস্তুটি হইতে একাধিক পদে কার্বন ডাই-অক্সাইড মুক্ত হইয়া গিয়া জাইমো-

স্টেরলের উৎপত্তি ঘটে এবং অণুতে দ্বি-বন্ধনীর (double bond) অবস্থানস্থল ক্রমশঃ পরিবর্তিত হইয়া উহা ডেস্‌মোস্টেরলে পরিবর্তিত হয়। ডেস্‌মোস্টেরলের পার্শ্বশৃঙ্খলের দ্বি-বন্ধনীটি বিজারণের মাধ্যমে সংপৃক্ত হইলে কোলেস্টেরল উৎপন্ন হয়।



চিত্র 18.39. স্কোয়ালিন হইতে কোলেস্টেরল সংশ্লেষণ

18.12 লিপিড বিপাকে হর্মোনের ভূমিকা

1. ইনসুলিন : ইনসুলিনের অভাবজনিত মধুমেহ বা ডায়াবেটিস মেলিটাস রোগে মেদকলায় চর্বিবিশ্লেষ (lipolysis) বাড়িয়া এবং চর্বিসংশ্লেষণ (lipogenesis) কমিয়া রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের যথেষ্ট মাত্রাধিক্য ঘটে, যকৃতে ফ্যাটি অ্যাসিডের বিটা-জারণ (beta-oxidation) ও কিটোনবর্গীয় পদার্থের উৎপাদন বাড়িয়া দেহে কিটোনাধিক্য (ketosis) সৃষ্ট হয়, যকৃতে চর্বি জমিতে থাকে (fatty liver) এবং রক্তরসে কোলেস্টেরলের পরিমাণও ক্রমশঃ বৃদ্ধি পায়। ইনসুলিন প্রয়োগে মধুমেহের এসকল লক্ষণ বহু পরিমাণেই নিবারণ করা যায়।

(*a*) ইনসুলিন প্রধানতঃ নিম্নবর্ণিত উপায়ে মেদকলার (adipose tissue) কোষে চর্বিসংশ্লেষণ (lipogenesis) বাড়ায় : (*i*) ইনসুলিন মেদকলার কোষে গ্লুকোজের প্রবেশ বাড়াইয়া দেয়। (*ii*) ইনসুলিন গ্লাইকোলিসিসের বিভিন্ন এনজাইম ও সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া এবং পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজকে সক্রিয় করিয়া তুলিয়া গ্লুকোজ হইতে গ্লিসেরোফসফেট ও অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপাদনের বৃদ্ধি ঘটায়, ফলে চর্বিসংশ্লেষণের এসকল উপাদান মেদকলার কোষে সুলভ হয়। (*iii*) ম্যালিক এনজাইম এবং পেণ্টোজ ফসফেট পথের প্রথম দুইটি ডিহাইড্রোজেনেজের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া ইনসুলিন ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্‌থেটেজের ক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH) কোএনজাইমটির উৎপাদন বর্ধিত করে। (*iv*) অ্যাসেটাইল-কো-এ কার্বক্সিলেজকে সক্রিয় করিয়া এবং ফ্যাটি অ্যাসিড সিন্‌থেটেজের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া ইন্‌সুলিন অ্যাসেটাইল-কো-এ হইতে দীর্ঘাণু ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির সংশ্লেষণ বর্ধিত করে। (*v*) ইনসুলিন গ্লিসেরোফসফেট অ্যাসাইলট্রান্সফেরেজের ক্রিয়া বাড়াইয়া ফ্যাটি অ্যাসিড ও গ্লিসেরোফসফেটের মিলনে ট্রাইগ্লিসেরাইডের সংশ্লেষণ বর্ধিত করে।

(*b*) ইনসুলিন যকৃত হইতে মেদকলায় চর্বি-স্থানান্তরণে (fat mobilisation) সাহায্য করিয়া যকৃতে চর্বি জমা নিবারণ করে, কারণ (*i*) ইহা যকৃতে ট্রাইগ্লিসেরাইড হইতে অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনের (VLDL) সংশ্লেষণ ও তাহার রক্তরসে আগমন বাড়াইয়া দেয় এবং (*ii*) মেদকলায় লাইপোপ্রোটিন লাইপেজের ক্রিয়া উদ্দীপিত করিয়া রক্তরসের লাইপোপ্রোটিন হইতে ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির মুক্তি ও কোষমধ্যে তাহাদের প্রবেশ বাড়াইতে পারে।

(*c*) ইনসুলিন মেদকলার কোষে হর্মোন-সেন্‌সিটিভ লাইপেজের সক্রিয় হওয়ায় বাধা দিয়া উহার ক্রিয়া কমায়, ফলে চর্বিবিশ্লেষ (lipolysis) কমিয়া রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিমাণ হ্রাস পায়।

(*d*) ইনসুলিন নানাভাবে ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ ও কিটোনবর্গীয় পদার্থের উৎপাদন কমাইয়া কিটোনাধিক্য (ketosis) নিবারণ করে : (*i*) ইনসুলিনের ক্রিয়ায় রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিমাণ কমিয়া যকৃতে বিটা-জারণের জন্য ফ্যাটি অ্যাসিডের সহজলভ্যতা হ্রাস পায়। (*ii*) ইনসুলিন গ্লুকোনিওজেনেসিস্ পথে অক্সালোঅ্যাসিটেটের ব্যবহার ও অপসারণ কমাইয়া দেয়, ফলে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুর সহিত মিলিয়া সাইট্রিক অ্যাসিড

উৎপাদনের জন্য যথেষ্ট অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড যকৃতে সংরক্ষিত থাকে এবং বিটা-জারণে উৎপন্ন অ্যাসেটাইল-কো-এ কিটোনজাতীয় পদার্থ উৎপাদনের পরিবর্তে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে সম্পূর্ণ জারিত হইয়া যায়।

(*e*) ইনসুলিন মেদকলায় ফসফোলিপিডের সংশ্লেষণ বাড়াইতে পারে।

2. **গ্লুকাগন :** ইহার মুখ্য ক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ : (*a*) গ্লুকাগন মেদকলায় হর্মোন-সেন্‌সিটিভ লাইপেজকে সক্রিয় করিয়া চর্বিবিশ্লেষ বাড়ায়, ফলে রক্তে গ্লিসেরল ও মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিমাণ বৃদ্ধি পায় এবং যকৃতে জারণের জন্য ফ্যাটি অ্যাসিডের সহজলভ্যতা বাড়ে। (*b*) গ্লুকাগন যকৃতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে অক্সালোঅ্যাসিটেটের পরিমাণ কমায়, ফলে বিটা-জারণে উৎপন্ন অ্যাসেটাইল-কো-এ সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে প্রবেশ করিতে না পারিয়া কিটোনবর্গীয় পদার্থ উৎপাদন করে। (*c*) গ্লুকাগন যকৃতে ফ্যাটি অ্যাসিড, কোলেস্টেরল এবং অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিনের (VLDL) সংশ্লেষণ কমাইয়া দেয়।

3. **গ্লুকোকর্টিকয়েড :** এই হর্মোনগুলি (*a*) মেদকলায় হর্মোন-সেন্‌সিটিভ লাইপেজের ক্রিয়া বাড়াইয়া চর্বিবিশ্লেষ ও রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিমাণ বর্ধিত করে, (*b*) চর্বিবিশ্লেষের উপরে অ্যাড্রেন্যালিন ও গ্রোথ হর্মোনের প্রভাবকে যথেষ্ট বাড়াইয়া দেয় এবং (*c*) যকৃতে ফ্যাটি অ্যাসিড হইতে ফ্যাটের সংশ্লেষণ বর্ধিত করে।

4. **অ্যাড্রেন্যালিন ও নর্‌-অ্যাড্রেন্যালিন :** এই ক্যাটেকলঅ্যামাইন-গুলি দেহের সংকটকালে অ্যাড্রেন্যাল গ্রন্থি ও সমবেদী নার্ভপ্রান্ত হইতে ক্ষরিত হইয়া হর্মোন-সেন্‌সিটিভ লাইপেজকে দ্রুত সক্রিয় করে, ফলে মেদকলায় চর্বিবিশ্লেষ বাড়িয়া রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিমাণ যথেষ্ট বৃদ্ধি পায় এবং তাহা যকৃত, হৃৎপিণ্ড ও পেশীতে অতিরিক্ত শক্তির জন্য জারিত হয়। অ্যাড্রেন্যালিন রক্তরসে ফসফোলিপিড, কোলেস্টেরল ও লাইপোপ্রোটিন বাড়ায়।

5. **থাইরক্সিন :** (*a*) ইহাও মেদকলায় হর্মোন-সেন্‌সিটিভ লাইপেজকে সক্রিয় করিয়া চর্বিবিশ্লেষ বাড়ায়, ফলে রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড বৃদ্ধি পায়। (*b*) থাইরক্সিন সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া কার্বোহাইড্রেট হইতে ফ্যাটি অ্যাসিডের উৎপাদন বর্ধিত করে। (*c*) হর্মোনটি কোলেস্টেরলের বিপাককে প্রভাবিত করে—গ্রেভ্‌স্‌-বর্ণিত রোগে (Grave's disease) ইহার অত্যধিক ক্ষরণের ফলে রক্তে কোলেস্টেরলের মাত্রাল্পতা ঘটে।

6. **গ্রোথ হর্মোন :** বিশেষতঃ গ্লুকোকর্টিকয়েড হর্মোনগুলির উপস্থিতিতে গ্রোথ হর্মোন অপেক্ষাকৃত ধীরে ধীরে (*a*) মেদকলায় হর্মোন-সেন্সিটিভ লাইপেজের ক্রিয়া বাড়াইয়া চর্বিবিশ্লেষ এবং রক্তে ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিমাণ বর্ধিত করে, (*b*) কিটোনবর্গীয় পদার্থের উৎপাদন বাড়াইয়া দেহে কিটোনাধিক্য (ketosis) এবং রক্তে কিটোনবর্গীয় পদার্থের মাত্রাধিক্য (ketonemia) ঘটায় এবং (*c*) মেদকলা হইতে যকৃতে ফ্যাটের আগমন বর্ধিত করিয়া যকৃতে চর্বি বাড়াইতে পারে।

7. **কর্টিকোট্রোপিন :** পিটুইটারির এই হর্মোনটিও প্রত্যক্ষভাবে মেদকলায় হর্মোন-সেন্সিটিভ লাইপেজের ক্রিয়া বাড়াইয়া রক্তে ফ্যাটি অ্যাসিডের মাত্রাধিক্য ঘটাইতে পারে। তাহা ছাড়া হর্মোনটি সম্ভবতঃ মেদকলায় চর্বির সংশ্লেষণ কমাইয়া দেয়।

ঊনবিংশ পরিচ্ছেদ

প্রোটিন বিপাক
(Protein metabolism)

অন্ত্র হইতে শোষিত অ্যামাইনো অ্যাসিডের অণুগুলি পোর্টাল শিরার রক্তের মাধ্যমে দেহের রক্তধারায় আসিয়া বিভিন্ন অঙ্গ ও কলায় পৌঁছায়। দেহে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি প্রধানতঃ কলার প্রোটিন সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। তাহা ছাড়া ক্রিয়াটিন, পিউরিন, পিরিমিডিন, পরফিরিন, মেলানিন, নিকোটিনঅ্যামাইড, পিত্তলবণ, নানা প্রকার হর্মোন প্রভৃতির সংশ্লেষণেও বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিড ব্যবহৃত হইয়া থাকে। দেহে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি প্রোটিন আকারে ব্যতীত অপরিবর্তিত মুক্ত আকারে কখনও সঞ্চিত থাকে না। অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির অপচিতির (catabolism) সময়ে উহাদের নাইট্রোজেন অংশের এবং নাইট্রোজেন-বিহীন কার্বন-কঙ্কালের (carbon skeleton) অন্তিম বিপাক পৃথক পৃথক পথে ঘটিয়া থাকে।

19.1 নাইট্রোজেন-সাম্য (nitrogen balance)

খাদ্যের বিভিন্ন অণুর অংশ হিসাবে যতখানি নাইট্রোজেন পৌষ্টিক নালী হইতে শোষিত হইয়া রক্তে আসে, ঠিক ততখানি নাইট্রোজেন যদি অ্যামোনিয়া, ইউরিয়া, ইউরিক অ্যাসিড, ক্রিয়াটিনিন প্রভৃতি নাইট্রোজেন-ঘটিত বর্জ্য দ্রব্যের (nitrogenous waste products) অণুর আকারে মূত্র, ঘর্ম, পিত্ত প্রভৃতির মাধ্যমে দেহের বাহিরে যায়, তবে দেহে নাইট্রোজেনের মোট পরিমাণে কোনই পরিবর্তন ঘটে না অর্থাৎ দেহে **নাইট্রোজেন-সমস্থিতি** (nitrogen equilibrium) রক্ষিত হয়। বৃদ্ধি, গর্ভধারণ, দীর্ঘ উপবাসের পরে স্বাভাবিক আহার, অথবা রোগমুক্তির পরে স্বাস্থ্যোদ্ধারের সময়ে দেহে **ধনাত্মক নাইট্রোজেন-সাম্য** (positive nitrogen balance) সৃষ্ট হয়; এ অবস্থায় পৌষ্টিক নালী হইতে শোষিত নাইট্রোজেনের সমপরিমাণ নাইট্রোজেন বর্জ্য দ্রব্যের সহিত রেচিত (excreted) হয় না, বরং উহার কিয়দংশ প্রোটিনরূপে বর্ধিষ্ণু বা পুনর্গঠিত কলায় সঞ্চিত থাকায় শোষিত নাইট্রোজেনের তুলনায় রেচিত নাইট্রোজেনের পরিমাণ স্বল্পতর হয়। কলার আঘাত বা দহনজনিত ক্ষতি, দেহক্ষয়কারী রোগ, উপবাস, খাদ্যে অপরিহার্য (essential) অ্যামাইনো

অ্যাসিডের অভাব এবং প্রোটিনের অভাবজনিত কোয়াশিয়রকর রোগে দেহে **ঋণাত্মক নাইট্রোজেন-সাম্য** (negative nitrogen balance) সৃষ্ট হয় ; এসকল ক্ষেত্রে কলার প্রোটিন ভাঙ্গিয়া যতখানি নাইট্রোজেন দেহ হইতে রেচিত হয়, তাহার স্থান পূরণের মত নাইট্রোজেন খাদ্য হইতে শোষিত হয় না, ফলে দেহে নাইট্রোজেনের পরিমাণ কমিতে থাকে ।

19.2 প্রোটিনেতর নাইট্রোজেন (nonprotein nitrogen)

খাদ্যে ও জীবদেহে নাইট্রোজেন প্রধানতঃ প্রোটিন অণুতেই থাকে। কিন্তু নিউক্লিইক অ্যাসিড, ক্রিয়াটিন প্রভৃতি কয়েকটি প্রোটিনেতর (nonprotein) বস্তুর অণুতেও অল্পস্বল্প নাইট্রোজেন বর্তমান। দেহে মুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড, তাহাদের বিপাকজাত ইউরিয়া, অ্যামোনিয়া, ক্রিয়াটিন, ক্রিয়াটিনিন, গ্লুটামিন প্রভৃতি বস্তু, বিভিন্ন নিউক্লিইক অ্যাসিড এবং তাহাদের বিপাকজাত ইউরিক অ্যাসিড প্রভৃতি বস্তু এরূপ প্রোটিনেতর নাইট্রোজেন-ঘটিত পদার্থ (NPN substances) ।

সারণী 19 1. স্বাভাবিক মানুষের রক্ত ও মূত্রে প্রোটিনেতর নাইট্রোজেন ।

প্রোটিনেতর নাইট্রোজেন	রক্তে (মিলিগ্রাম/ডেসিলিটার)	মূত্রে (গ্রাম/24 ঘণ্টা)
ইউরিয়া	18-30	20-30
অ্যামোনিয়া	0 04-0.06	0.4-1 0
অ্যামাইনো অ্যাসিড	30-45	0.1-0.2
ইউরিক অ্যাসিড	3-6*	0.3-0.7
ক্রিয়াটিন	0.1-0.5*	0.06-0.15
ক্রিয়াটিনিন	0.7-1.2*	1.0-1.8
হিপ্পিউরিক অ্যাসিড		0.5-0 9
মোট প্রোটিনেতর নাইট্রোজেন	20-35	20-35

* প্রতি ডেসিলিটার সিরাম বা রক্তমস্তুতে ।

19.3 শর্করাপ্রদ ও কিটো-প্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড

গ্লাইসিন, অ্যালানিন, সেরিন, ভ্যালিন, থ্রিওনিন, মেথিওনিন, হিস্টিডিন, আর্জিনিন, অ্যাস্‌পার্টিক অ্যাসিড, গ্লুটামিক অ্যাসিড প্রভৃতি অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিপাকের ফলে উহাদের অণু হইতে অ্যামাইনো বর্গ অপসৃত হইলে যে অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডগুলির উৎপত্তি ঘটে, সেগুলি হইতে যকৃত ও বৃক্কে

গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে গ্লুকোজ ও গ্লাইকোজেন উৎপন্ন হয়। এজাতীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডকে **শর্করাপ্রদ (glycogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিড** বলে।

লিউসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডটির বিপাকের ফলে দেহে অ্যাসেটো-অ্যাসেটিক অ্যাসিড নামক কিটোনবর্গীয় বস্তুটির উদ্ভব ঘটে। এরূপ অ্যামাইনো অ্যাসিডকে **কিটো-প্রদ (ketogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিড** বলে।

আইসোলিউসিন, টাইরোসিন, লাইসিন ও ট্রিপ্‌টোফ্যানের বিপাকের ফলে একদিকে প্রোপায়োনিল-কো-এ, ফিউমারিক অ্যাসিড, পাইরুভিক অ্যাসিড প্রভৃতি শর্করাপ্রদ বস্তু এবং অন্যদিকে অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট উৎপন্ন হয়। এজন্য এসকল অ্যামাইনো অ্যাসিডকে **শর্করা-কিটো-প্রদ (glycogenic-ketogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিড** বলা হয়।

19.4 অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিড

কতকগুলি অ্যামাইনো অ্যাসিড দেহে বিভিন্ন কার্যের জন্য অত্যাবশ্যক, অথচ দেহে সেগুলি উপযুক্ত পরিমাণে সংশ্লেষিত হয় না। সেজন্য ঐসকল অ্যামাইনো অ্যাসিড খাদ্যে অবশ্যই থাকা প্রয়োজন। ইহাদের **অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিড (essential amino acids)** বলে; যথা, ট্রিপ্‌টোফ্যান, ফিনাইলঅ্যালানিন, লাইসিন, ভ্যালিন, লিউসিন, আইসোলিউসিন, থ্রিওনিন ও মেথিওনিন। খাদ্যে ইহাদের যে কোনওটির অভাব ঘটিলে বৃদ্ধি হ্রাস পায়, রক্তে প্রোটিনের মাত্রাল্পতা ঘটে, ঋণাত্মক নাইট্রোজেন-সাম্য (negative nitrogen balance) সৃষ্ট হয়, বমনেচ্ছা (nausea) ও রক্তাল্পতা (anemia) দেখা দেয়। পূর্বোক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি ব্যতীত হিস্টিডিন, আর্জিনিন, টাইরোসিন ও সিস্টাইনকে **অর্ধ-অপরিহার্য (semi-indispensable) অ্যামাইনো অ্যাসিড** বলে। ইহাদের অভাবে প্রাপ্তবয়স্ক ব্যক্তির দেহে নাইট্রোজেন-সাম্য ব্যাহত হয় না; কিন্তু আর্জিনিনের অভাবে শিশুর বৃদ্ধি এবং প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষের শুক্রাণু (sperm) উৎপাদন হ্রাস পায়, টাইরোসিন ও সিস্টাইনের অভাবে যথাক্রমে ফিনাইলঅ্যালানিন ও মেথিওনিনের প্রয়োজনীয়তা লক্ষণীয়ভাবে বাড়িয়া যায় এবং হিস্টিডিনের অভাবে শিশুর বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। গম, ভুট্টা, যব প্রভৃতির উদ্ভিজ্জ প্রোটিনে এক বা একাধিক অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাব থাকায় তাহাদের জৈব মূল্য (biological value) অপেক্ষাকৃত কম; ডিম, দুধ ও মাছমাংসের জান্তব প্রোটিনে সব কয়টি অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিড যথোপযুক্ত অনুপাতে ও পরিমাণে

বর্তমান ; সেজন্য এসকল জান্তব প্রোটিন বৃদ্ধি ও নাইট্রোজেন-সাম্য রক্ষায় বিশেষ ফলপ্রদ এবং ইহাদের জৈব মূল্য অধিক ।

গ্লাইসিন, অ্যালানিন, সেরিন, অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড, গ্লুটামিক অ্যাসিড, অর্নিথিন, প্রোলিন প্রভৃতি কতকগুলি অ্যামাইনো অ্যাসিড দেহে নানা সূত্র হইতে সংশ্লেষিত হইতে পারে ; সেজন্য এগুলি দেহের কার্যের জন্য অত্যাবশ্যক হইলেও খাদ্যে অপরিহার্য নয় । ইহাদের **অনপরিহার্য (non-essential) অ্যামাইনো অ্যাসিড** বলে ।

19.5 অ্যামাইনো অ্যাসিডের ক্রিয়া

1. **বিভিন্ন কলার প্রোটিন সংশ্লেষণ :** কোষে দানাদার (granular) এনডোপ্লাজমিক রেটিকুলামে সংলগ্ন রাইবোজোম কণা ও এম-আর.এন.এ. বহু অ্যামাইনো অ্যাসিড অণুকে সুনির্দিষ্ট ক্রম (sequence) অনুসারে সাজাইয়া ও পেপ্টাইড বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত করিয়া বিভিন্ন পেপ্টাইড ও প্রোটিন সংশ্লেষণ করে । এভাবেই অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে সকল এনজাইম, রক্তরসের প্রোটিনগুলি, হিমোগ্লোবিনের গ্লোবিন, অক্ষিপটের (retina) রডপ্সিন রঙ্গকের (pigment) অপ্সিন নামক প্রোটিনাংশ, ত্বকের কেরাটিন, যোগকলার কোলাজেন ও ইলাস্টিন, নার্ভকলার নিউরোকেরাটিন, পেশীতন্তুর অ্যাক্টিন ও মায়োসিন প্রভৃতি বহু প্রকার প্রোটিন সংশ্লেষিত হয় ।

2. **পেপ্টাইড হর্মোনের সংশ্লেষণ :** অগ্ন্যাশয়, পৌষ্টিক নালী, পিটুইটারি, প্যারাথাইরয়েড, হাইপোথ্যালামাস প্রভৃতি অঙ্গ হইতে ক্ষরিত প্রোটিনজাতীয় বা পেপ্টাইড হর্মোনগুলি অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতেই সংশ্লেষিত হয় ।

3. **ক্যাটেকলঅ্যামাইন ও আয়োডোথাইরোনিন বর্গীয় হর্মোনগুলির সংশ্লেষণ :** অ্যাড্রেন্যালের মধ্যাংশের (medulla) ক্যাটেকলঅ্যামাইন-বর্গীয় হর্মোনগুলি এবং থাইরয়েডের আয়োডোথাইরোনিন-বর্গীয় হর্মোনগুলি টাইরোসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিপাকের ফলে উৎপন্ন হয় (16.13 ও 19.13 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) ।

4. **সক্রিয় জৈব অ্যামাইনের উৎপাদন :** বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে ডিকার্বক্সিলেশনের দ্বারা কার্বন ডাই-অক্সাইড মুক্ত হইয়া গিয়া বিভিন্ন গুরুত্বপূর্ণ জৈব অ্যামাইন উৎপন্ন হয় ; যথা হিস্টিডিন হইতে হিস্টামিন, ট্রিপ্টোফ্যান হইতে সেরোটোনিন, টাইরোসিন হইতে নর্-অ্যাড্রেন্যালিন এবং

গ্লুটামিক অ্যাসিড হইতে গামা-অ্যামাইনোবিউটিরিক অ্যাসিড (19.13 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

5. **মেলানিন সংশ্লেষণ** : ত্বক, চোখের কৃষ্ণমণ্ডল (choroid) প্রভৃতির কৃষ্ণবর্ণ রঙ্গক মেলানিন টাইরোসিনের বিপাকের ফলে উৎপন্ন হয় (19.14 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

6. **পরফিরিন সংশ্লেষণ** : সাইটোক্রোম, হিমোগ্লোবিন, ক্যাটালেজ, পারঅক্সিডেজ প্রভৃতি অণুর পরফিরিন (porphyrin) রঙ্গকটি গ্লাইসিন হইতে সংশ্লেষিত হয়।

7. **ক্রিয়াটিন সংশ্লেষণ** : বৃক্ক, যকৃত ও অগ্ন্যাশয়ে গ্লাইসিন, আর্জিনিনের অ্যামিডিন বর্গ এবং মেথিওনিনের মিথাইল বর্গের মিলনে ক্রিয়াটিন ফসফেটের ক্রিয়াটিন অংশ সংশ্লেষিত হয় (19.12 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

8. **ভিটামিন সংশ্লেষণ** : ট্রিপ্‌টোফ্যান হইতে দেহে অল্পস্বল্প পরিমাণে নিকোটিনঅ্যামাইড ভিটামিনটি সংশ্লেষিত হয়।

9. **পিত্তলবণ সংশ্লেষণ** : গ্লাইকোকোলেট ও টওরোকোলেট নামক পিত্তলবণ-দুইটি যকৃতে যথাক্রমে গ্লাইসিন ও সিস্টাইনের সাহায্যে সংশ্লেষিত হয় (19.13 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

10. **পিউরিন ও পিরিমিডিন সংশ্লেষণ** : গ্লাইসিন, সেরিন, অ্যাস্‌পার্টিক অ্যাসিড, গ্লুটামিনের অ্যামাইড বর্গ এবং মেথিওনিনের মিথাইল বর্গ পিউরিন ও পিরিমিডিনের সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়।

11. **কার্বোহাইড্রেট উৎপাদন** : গ্লাইসিন, অ্যালানিন, অ্যাসপার্টিক অ্যাসিড, গ্লুটামিক অ্যাসিড প্রভৃতি শর্করাপ্রদ (glycogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিপাকজাত বস্তুগুলি হইতে যকৃত ও বৃক্কে গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট সংশ্লেষিত হয়।

12. **গ্লুটাথিওন সংশ্লেষণ** : গ্লুটাথিওন নামক গুরুত্বপূর্ণ ট্রাইপেপ্‌টাইডটি গ্লাইসিন, সিস্টাইন ও গ্লুটামিক অ্যাসিডের মিলনে গঠিত হয় (19.15 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

13. **মিথাইল সংযোজন (methylation)** : মেথিওনিন হইতে উৎপন্ন এস্‌-অ্যাডেনোসিলমেথিওনিনের (S-adenosylmethionine) মিথাইল বর্গ নানা বস্তুর অণুতে যুক্ত হইতে পারে (19.16 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। এভাবে মেথিওনিনের **সচল (labile) মিথাইল** বর্গটি ক্রিয়াটিন, কোলিন, অ্যাড্রেন্যালিন,

মেলাটোনিন প্রভৃতি বহু বস্তুর সংশ্লেষণে এবং নিকোটিনঅ্যামাইড, কুইনোলিন, পিরিডিন ইত্যাদি নানা বস্তুকে নিষ্ক্রিয় (detoxicate) করিতে ব্যবহৃত হয়।

14. নির্বিষকরণ (detoxication) : যকৃতে বহু হানিকর পদার্থকে নিষ্ক্রিয় করিবার জন্য উহাদের অণুতে গ্লাইসিন বা সিস্টাইন যোগ করা হয় অথবা মেথিওনিনের মিথাইল বর্গটি সংযোজিত হয়।

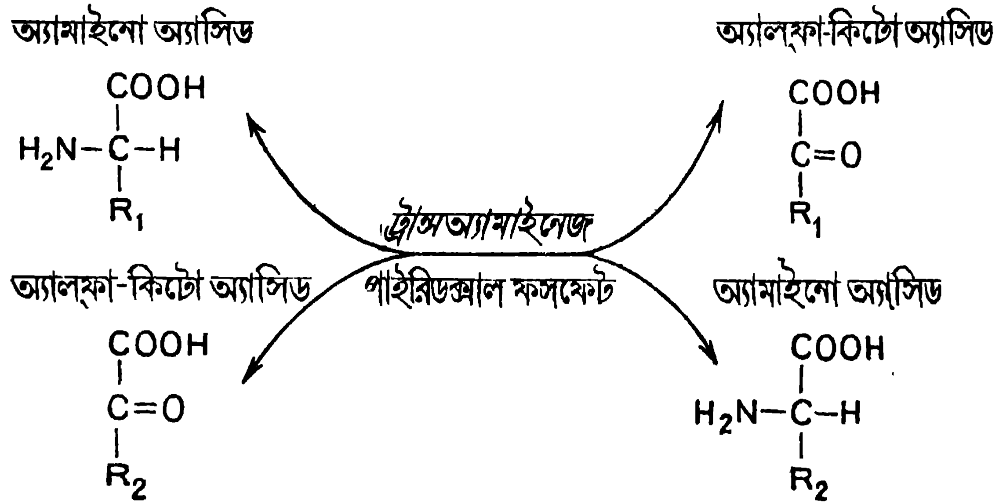
19.6 অ্যামাইনো অ্যাসিডের পরিণাম

দেহে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি ঐ আকারেই সঞ্চিত থাকে না ; খাদ্যে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি সুসম পরিমাণে ও যথোপযুক্ত অনুপাতে গ্রহণ করিলে সেগুলি হইতে দেহে নানাপ্রকার কলাগঠনকারী ও এনজাইমধর্মী প্রোটিন সংশ্লেষিত হইয়া কলায় সঞ্চিত হয়। তাহা ছাড়া বিভিন্ন পেপ্‌টাইড হর্মোন, সক্রিয় জৈব অ্যামাইন, মেলানিন, ক্যাটেকলঅ্যামাইন ও আয়োডো-থাইরোনিন বর্গীয় হর্মোন, পিউরিন ও পিরিমিডিন, পরফিরিন, নিকোটিনঅ্যামাইড, পিত্তলবণ, ক্রিয়াটিন প্রভৃতি বস্তুর সংশ্লেষণেও অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি ব্যয় হইয়া থাকে। যকৃতে নির্বিষকরণ (detoxication) পদ্ধতিতে হানিকর ও অপ্রয়োজনীয় বস্তুর অণুতে যুক্ত হইয়া কোনও কোনও অ্যামাইনো অ্যাসিড দেহ হইতে রেচিত হয়। তাহা ছাড়া যকৃতে নানাভাবে অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে অ্যামাইনো বর্গটি অপসারিত হইয়া ইউরিয়া, অ্যামোনিয়া প্রভৃতি প্রোটিনেতর নাইট্রোজেনের আকারে মূত্রে রেচিত হয়। অল্পস্বল্প অ্যামাইনো অ্যাসিড অপরিবর্তিত আকারেও মূত্রে বাহির হইতে পারে। অ্যামাইনো বর্গ অপসারণের পরে অ্যামাইনো অ্যাসিডটির অবশিষ্ট অংশটুকু অনেক ক্ষেত্রে কার্বোহাইড্রেট বা কিটোনবর্গীয় বস্তুতে রূপান্তরিত হয়। 19.7 হইতে 19.18 প্রসঙ্গে এসকল পরিণামের বিশদ আলোচনা দ্রষ্টব্য।

19.7 ট্রান্সঅ্যামিনেশন বা অ্যামাইনো-স্থানান্তরণ

প্রধানতঃ যকৃতে এবং কিছু পরিমাণে বৃক্ক, হৃৎপেশী প্রভৃতি যকৃতেতর (extrahepatic) কলায় ট্রান্সঅ্যামাইনেজ বা অ্যামাইনোট্রান্সফেরেজ এনজাইমগুলির ক্রিয়ায় অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গটি গিয়া কোনও অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডের কিটোন বর্গের স্থলাভিষিক্ত হইলে শেষোক্ত অ্যাসিডটি এক নূতন অ্যামাইনো অ্যাসিডে এবং প্রথমোক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডটি এক নূতন অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডে পরিণত হয়। ইহাই অ্যামাইনো-স্থানান্তরণ (transamination) নামে পরিচিত (চিত্র 19.1)।

পাইরিডক্সাল ফসফেট ট্রান্সঅ্যামাইনেজ এনজাইমগুলির কোএনজাইম বা প্রোটিনেতর (prosthetic) বর্গরূপে কাজ করে। ট্রান্সঅ্যামাইনেজের ক্রিয়ার সময়ে প্রথমে মূল অ্যামাইনো অ্যাসিডটি এনজাইমে আবদ্ধ পাইরিডক্সাল ফসফেট অণুতে যুক্ত হইয়া শিফ-বেস (Schiff base) জাতীয় বস্তু উৎপন্ন করে (চিত্র 19.2)। শেষোক্ত বস্তুটি হইতে অচিরে একটি নূতন অ্যালফা-কিটো অ্যাসিড মুক্ত হইয়া যায় এবং এনজাইমের প্রোটিনেতর বর্গটি পাইরিডক্স্যামিন ফসফেটে পরিবর্তিত হইয়া অ্যামাইনো বর্গটিকে ধরিয়া রাখে। পরবর্তী পর্যায়ে মূল অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডটি পাইরিডক্স্যামিন ফসফেটের সহিত যুক্ত হইয়া শিফ-বেস উৎপন্ন করে; অচিরেই তাহার বিশ্লেষ ঘটিয়া একটি নূতন

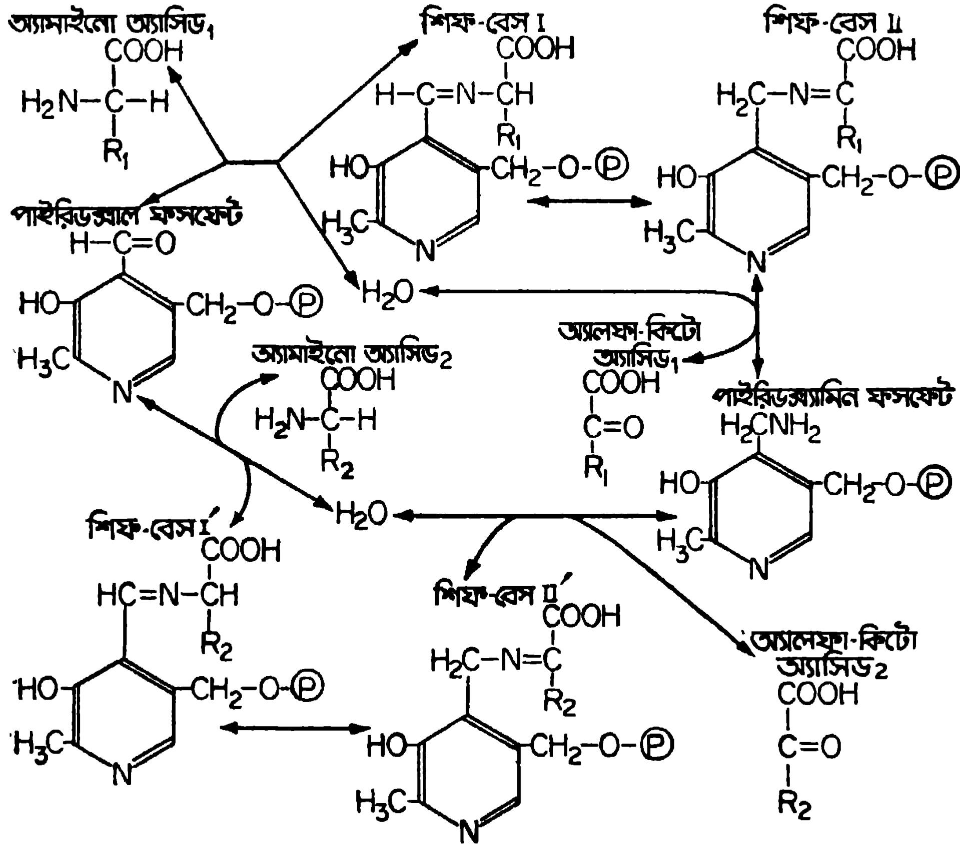


চিত্র 19.1. ট্রান্সঅ্যামিনেশন বা অ্যামাইনো-স্থানান্তরণ।

অ্যামাইনো অ্যাসিড মুক্ত হইয়া যায় এবং এনজাইমের প্রোটিনেতর বর্গটি অ্যামাইনো বর্গ হারাইয়া আবার পাইরিডক্সাল ফসফেটে পরিণত হয়।

দেহে গ্লুটামিক অ্যাসিড, অ্যাস্‌পার্টিক অ্যাসিড, অ্যালানিন, অর্নিথিন, গ্লাইসিন, টাইরোসিন, ভ্যালিন, লিউসিন, আইসোলিউসিন, সিস্টাইন প্রভৃতি বহু অ্যামাইনো অ্যাসিড এবং অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট, পাইরুভেট, অ্যালফা-কিটোআইসোভ্যালেরেট, বিটা-মার্ক্যাপ্টোপাইরুভেট, অক্সালোঅ্যাসিটেট প্রভৃতি বহু অ্যালফা-কিটো অ্যাসিড ভিন্ন ভিন্ন ট্রান্সঅ্যামাইনেজের প্রভাবে ট্রান্সঅ্যামিনেশন বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে। গ্লুটামিক অ্যাসিডের সহিত সম্পর্কিত দুইটি ট্রান্সঅ্যামাইনেজের ক্রিয়া দৃষ্টান্তস্বরূপ উল্লেখ করা যায় (চিত্র 19.3) : (*a*) গ্লুটামেট-পাইরুভেট ট্রান্সঅ্যামাইনেজ (বা গ্লুটামেট-অ্যালানিন অ্যামাইনোট্রান্সফেরেজ) গ্লুটামেট হইতে অ্যামাইনো বর্গটিকে পাইরুভেটে অথবা

অ্যালানিন হইতে অ্যামাইনো বর্গটিকে অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেটে স্থানান্তরিত করে ; (*b*) গ্লুটামেট-অক্সালোঅ্যাসিটেট ট্রান্সঅ্যামাইনেজ (বা গ্লুটামেট-অ্যাস্পার্টেট অ্যামাইনোট্রান্সফেরেজ) গ্লুটামেট হইতে অ্যামাইনো বর্গকে অক্সালোঅ্যাসিটেটে অথবা অ্যাস্পার্টেট হইতে অ্যামাইনো বর্গটিকে অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেটে স্থানান্তরিত করে। অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মতই গ্লুটামিন ও অ্যাস্পারাজিন নামক অ্যামাইন এবং অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডগুলির মতই গ্লাইঅক্সিলেট, গ্লুটামেট-গামা-সেমিঅ্যাল্ডিহাইড প্রভৃতি কয়েকটি অ্যাল্ডি-

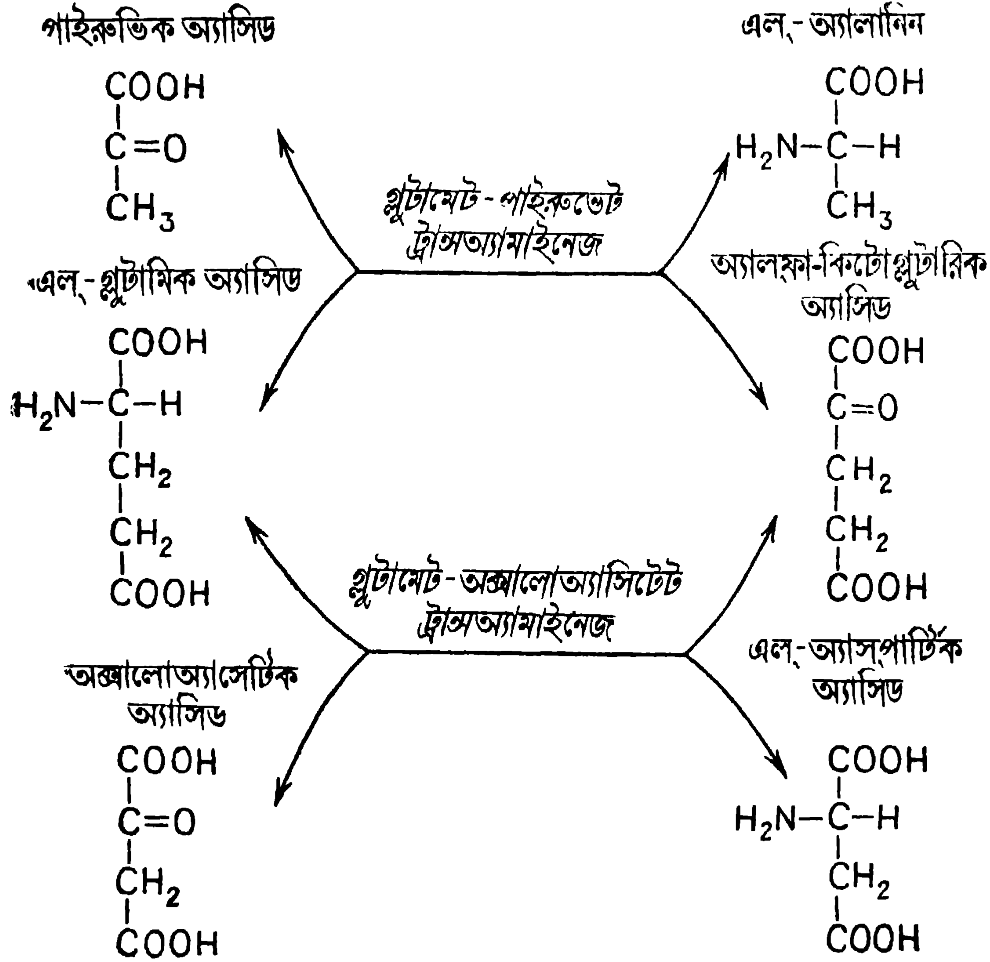


চিত্র 19.2. ট্রান্সঅ্যামিনেশনে পাইরিডক্সাল ফসফেটের ভূমিকা।

হাইড ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা পরিবর্তিত হইতে পারে। কিন্তু বিসম-বলয়িত (heterocyclic) প্রোলিন ও হাইড্রক্সিপ্রোলিন, ক্ষারধর্মী লাইসিন এবং হাইড্রক্সিল-যুক্ত সেরিন ও থ্রিওনিন ট্রান্সঅ্যামিনেশনের মাধ্যমে পরিবর্তিত হইতে পারে না।

দেহে ট্রান্সঅ্যামিনেশনের মুখ্য ভূমিকাগুলি নিম্নরূপ : (*a*) দেহে পূর্ব হইতেই বর্তমান অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির অ্যামাইনো বর্গকে ট্রান্স-অ্যামিনেশনের দ্বারা বিভিন্ন অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডে স্থানান্তরিত করিয়া শেষোক্ত অ্যাসিডগুলি হইতে অনপরিহার্য (nonessential) অ্যামাইনো অ্যাসিড-

গুলিকে সংশ্লেষণ করা হয়। (*b*) ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা বহু অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে অ্যামাইনো বর্গটি অপসারিত হইয়া গ্লুটামেট বা অ্যাস্পার্টেট অণুর অংশীভূত হয় ; পরে ট্রান্সডিঅ্যামিনেশন প্রক্রিয়ায় গ্লুটামেট হইতে ঐ অ্যামাইনো বর্গটি অ্যামোনিয়ার আকারে মুক্ত হইয়া ইউরিয়া সংশ্লেষণে ব্যবহৃত



চিত্র 19.3. গ্লুটামেট-সংশ্লিষ্ট দুইটি ট্রান্সঅ্যামিনেশন।

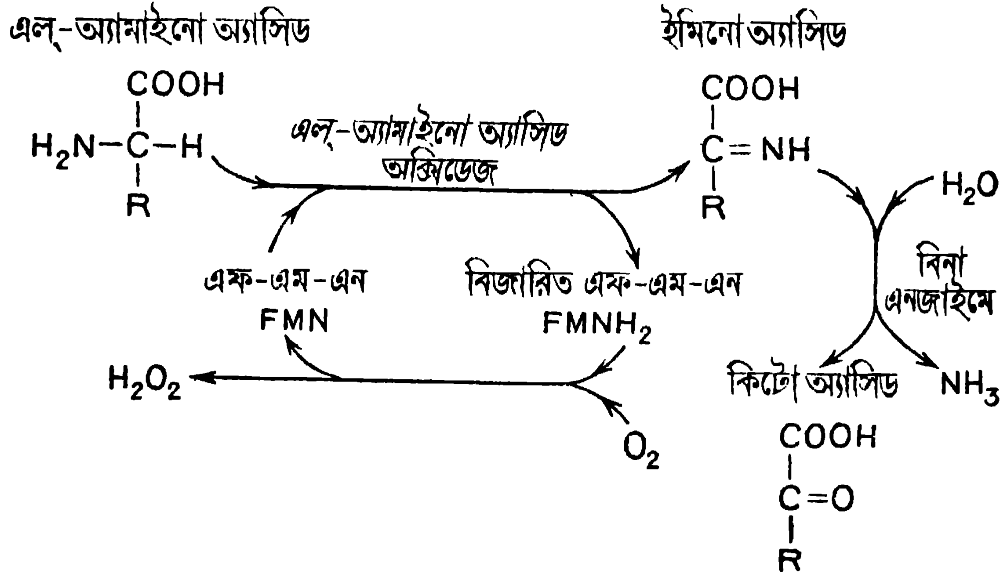
হয় (19.9 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) ; অন্যদিকে অ্যাস্পার্টেট অণুতে আগত অ্যামাইনো বর্গটিও ইউরিয়া অণুতে প্রবেশ করে (19.10 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। (*c*) ট্রান্স-অ্যামিনেশনের ফলে শর্করাপ্রদ (glycogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি হইতে যে সকল অ্যাল্ফা-কিটো অ্যাসিড উৎপন্ন হয়, বৃক্ক ও যকৃতে তাহারা গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেটে রূপান্তরিত হয়।

19.8 ডিঅ্যামিনেশন বা অ্যামাইনোহরণ

অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে অ্যামাইনো বর্গটিকে সরাসরি অ্যামোনিয়ার

আকারে মুক্তি দিবার পদ্ধতিকে অ্যামাইনোহরণ (deamination) বলা হয়। মুক্ত অ্যামোনিয়া প্রধানতঃ ইউরিয়া উৎপাদনে এবং অল্প পরিমাণে গ্লুটামিন উৎপাদনে ব্যবহৃত হয় (19.10 ও 19.11 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। অ্যামোনিয়া মুখ্যতঃ ইউরিয়া আকারে এবং কিছু পরিমাণে অ্যামোনিয়াম লবণের আকারে মানুষের মূত্রে রেচিত হয়। ডিঅ্যামিনেশনের পরে অ্যামাইনো অ্যাসিডের যে নাইট্রোজেন-বিহীন অংশটি অবশিষ্ট থাকে, তাহা দেহে কার্বোহাইড্রেট বা কিটোনবর্গীয় পদার্থে রূপান্তরিত হইতে পারে।

1. **জারক অ্যামাইনোহরণ বা অক্সিডেটিভ ডিঅ্যামিনেশন :** এই পদ্ধতিতে প্রথমে অ্যামাইনো অ্যাসিডটি অ্যামাইনো অ্যাসিড অক্সিডেজ (বা অ্যামাইনো অ্যাসিড ডিহাইড্রোজেনেজ) জাতীয় ফ্ল্যাভোপ্রোটিন এনজাইমের ক্রিয়ায় জারিত (oxidized) হইয়া ইমিনো অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং অচিরে শেষোক্ত বস্তুটির সহিত আপনাআপনি (spontaneously) জলের বিক্রিয়া ঘটিয়া অ্যাল্‌ফা-কিটো অ্যাসিড ও অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.4)।



চিত্র 19.4. অক্সিডেটিভ ডিঅ্যামিনেশন বা জারক অ্যামাইনোহরণ।

উপরি-উক্ত পদ্ধতির প্রথম বিক্রিয়াটির সময়ে অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে হাইড্রোজেন গ্রহণ করিয়া এনজাইমের রাইবোফ্ল্যাভিন-ঘটিত প্রোটিনেতর (prosthetic) বর্গটি বিজারিত (reduced) হইয়া যায়, কিন্তু উহা অবিলম্বে সরাসরি আণব (molecular) অক্সিজেনে হাইড্রোজেন দান করিয়া পুনর্বার জারিত (oxidized) আকার লাভ করে এবং হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড উৎপন্ন হয়। স্তন্যপায়ীর যকৃত ও বৃক্কে ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিড অক্সিডেজ

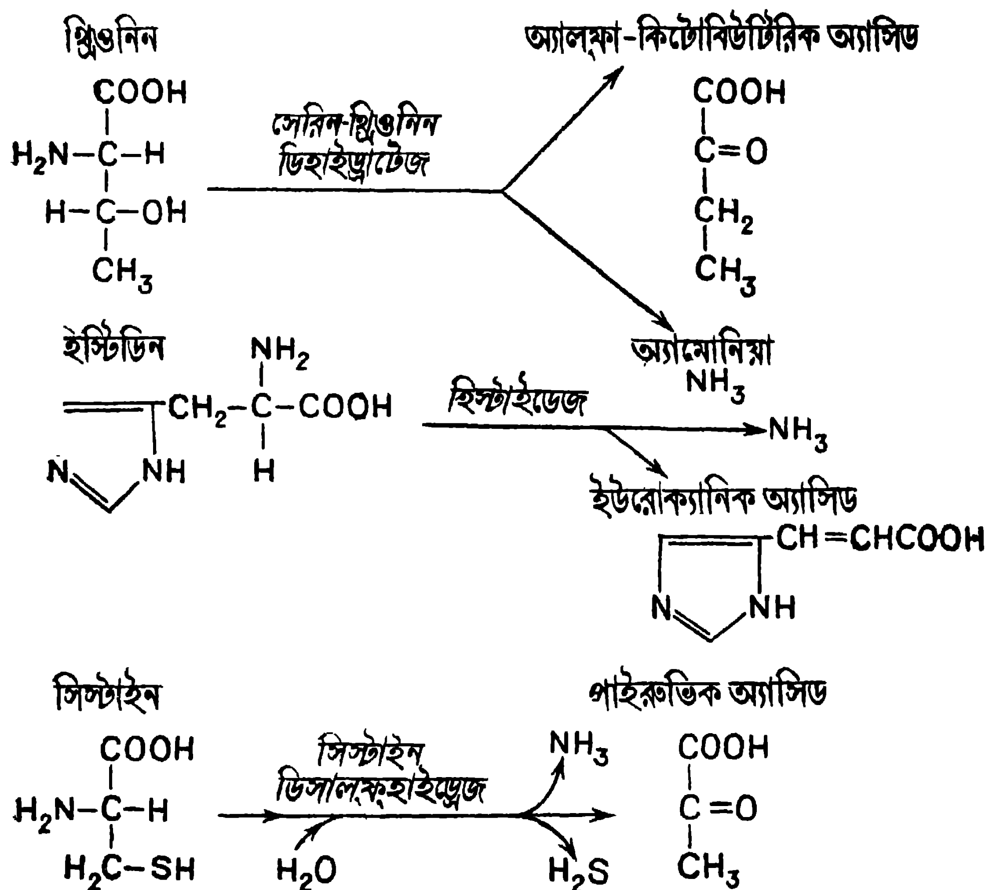
এবং বৃক্কে এল্‌-অ্যামাইনো অ্যাসিড অক্সিডেজ থাকে। ইহাদের প্রোটিনেতর বর্গ যথাক্রমে ফ্ল্যাভিন-অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড (এফ-এ-ডি, FAD) ও ফ্ল্যাভিন মোনোনিউক্লিওটাইডে (এফ-এম-এন, FMN) গঠিত এবং ইহারা যথাক্রমে ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিড (D-amino acids) ও এল্‌-অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির (L-amino acids) ডিঅ্যামিনেশন ঘটায়।

দেহে ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিকে সোজাসুজি কাজে লাগানো যায় না। সম্ভবতঃ ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিড অক্সিডেজের প্রভাবে দুই-একটি ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রথমে কিটো অ্যাসিডে পরিণত হয় ; পরে ট্রান্স-অ্যামিনেশনের দ্বারা উক্ত কিটো অ্যাসিডে সঠিক বিন্যাসে অ্যামাইনো বর্গ যোগ করিয়া এল্‌-অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপাদন করা হয়। দ্বিতীয়তঃ ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিড অক্সিডেজ অল্পস্বল্প গ্লাইসিনের ডিঅ্যামিনেশন ঘটাইতে পারে। কিন্তু লাইসিন, অ্যাস্‌পার্টেট, গ্লুটামেট, গ্লুটামিন ও অ্যাস্‌পারাজিনের ডি-আইসোমারগুলির (D-isomers) উপরে এনজাইমটির ক্রিয়া নাই। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখ্য যে, খাদ্যের ও দেহের অধিকাংশ স্বাভাবিক প্রোটিন এল্‌-অ্যামাইনো অ্যাসিডে গঠিত, ডি-অ্যামাইনো অ্যাসিডে নয়।

স্তন্যপায়ীর দেহে এল্‌-অ্যামাইনো অ্যাসিড অক্সিডেজের ভূমিকা অত্যন্ত সীমাবদ্ধ। প্রথমতঃ স্তন্যপায়ীর যকৃতে এনজাইমটির অস্তিত্ব নগণ্য। দ্বিতীয়তঃ এনজাইমটি সেরিন, থ্রিওনিন, অ্যাস্‌পার্টেট, গ্লুটামেট, লাইসিন, সিস্টাইন ও মেথিওনিনের এল্‌-আইসোমারগুলির (L-isomers) এবং গ্লাই-সিনের ডিঅ্যামিনেশন ঘটাইতে পারে না। দেহে অধিকাংশ এল্‌-অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গ ট্রান্সডিঅ্যামিনেশন পদ্ধতিতে (19.9 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) অথবা জারণ-বিরহিত (non-oxidative) ডিঅ্যামিনেশন পদ্ধতিতে অপসৃত হয়।

2. জারণ-বিরহিত অ্যামাইনোহরণ বা নন্‌-অক্সিডেটিভ ডিঅ্যামিনে-শন : হাইড্রক্সিল-যুক্ত সেরিন ও থ্রিওনিন, দুই কার্বক্সিল-বিশিষ্ট অ্যাস্‌পার্টিক অ্যাসিড, বিসমবলয়িত (heterocyclic) হিস্টিডিন এবং গন্ধকযুক্ত সিস্টাইন ও সিস্টিন—এসকল অ্যামাইনো অ্যাসিডের এল্‌-আইসোমারগুলির ডি-অ্যামিনেশনের সময়ে তাহাদের জারণ (oxidation) ঘটে না। যথা, হিস্টাইডেজের ক্রিয়ায় হিস্টিডিন হইতে অ্যামোনিয়া মুক্ত হইয়া গিয়া ইউরো-ক্যানিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে, সেরিন-থ্রিওনিন ডিহাইড্রাটেজ সেরিন ও থ্রিওনিনের অণু হইতে অ্যামোনিয়াকে মুক্ত করিয়া দিয়া তাহাদের যথাক্রমে

পাইরুভেট ও অ্যালফা-কিটোবিউটিরেটে পরিবর্তিত করে, আবার সিস্টাইন ডিসাল্‌ফ্‌হাইড্রেজের ক্রিয়ায় সিস্টাইন হইতে অ্যামোনিয়া ও হাইড্রোজেন সালফাইড মুক্ত হইয়া গিয়া পাইরুভেট উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.5)।

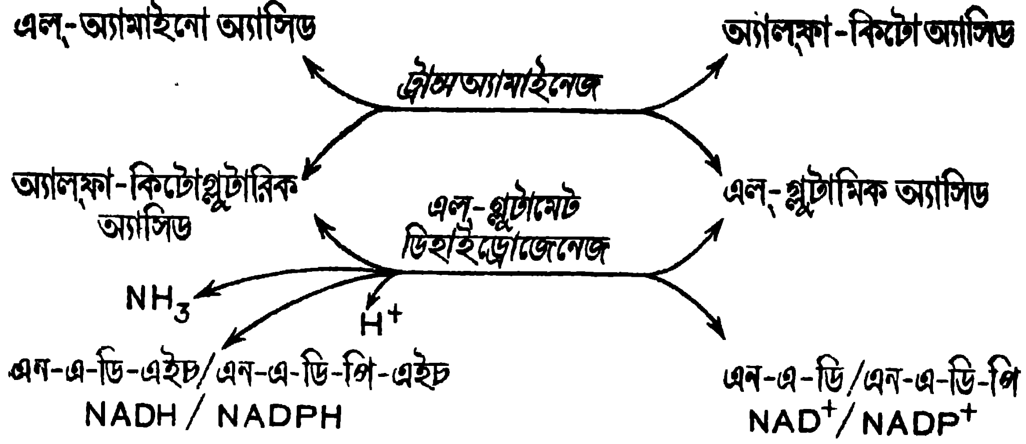


চিত্র 19.5. নন-অক্সিডেটিভ ডিঅ্যামিনেশন বা জারণ-বিরহিত অ্যামাইনোহরণ।

19.9 ট্রান্সডিঅ্যামিনেশন

এই পদ্ধতির প্রথম পদে যকৃতের ট্রান্সঅ্যামাইনেজ এনজাইমগুলি বিভিন্ন এল্‌-অ্যামাইনো অ্যাসিড (L-amino acids) হইতে অ্যামাইনো বর্গকে অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেটে স্থানান্তরিত করে। ফলে অ্যামাইনো অ্যাসিডটি অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট হইতে এল্‌-গ্লুটামেটের (L-glutamate) উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 19.6)। পরবর্তী পদে এন-এ-ডি বা এন-এ-ডি-পি এবং এল্‌-গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামেট জারিত হইয়া অ্যাল্‌ফা-কিটোগ্লুটারেটে পরিণত হয় এবং অ্যামোনিয়া মুক্ত হইয়া যায়। এভাবেই স্তন্যপায়ীর যকৃতে অধিকাংশ অ্যামাইনো অ্যাসিড

হইতে অ্যামোনিয়াকে বিচ্ছিন্ন করিয়া ইউরিয়া বা গ্লুটামিনের সংশ্লেষণে নিয়োগ করা হয়।



চিত্র 19.6. ট্রান্সডিঅ্যামিনেশন।

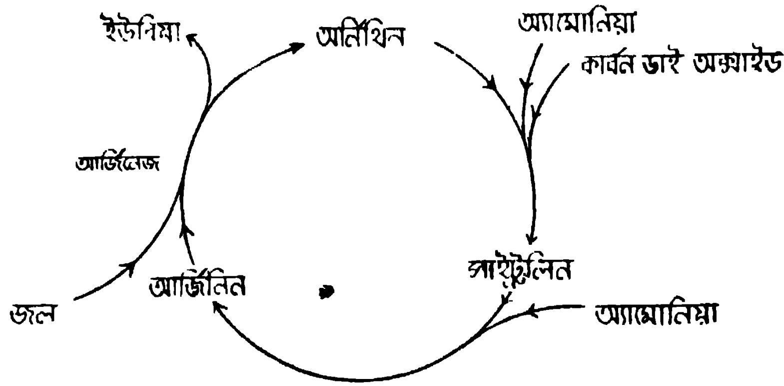
19.10 ইউরিয়া সংশ্লেষণ

অ্যামোনিয়া অত্যন্ত জলদ্রাব্য এবং ইহার মারাত্মক বিষক্রিয়া (ammonia toxicity) বর্তমান। দেহে অ্যামোনিয়ার আধিক্য ঘটিলে দেহরসগুলির ক্ষারধর্মিতা বৃদ্ধি পায়, মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় জারণ ও উচ্চশক্তি ফসফেটের সংশ্লেষণ বিঘ্নিত হয়, কোষঝিল্লী অতিক্রম করিয়া সোডিয়াম-পটাসিয়ামের সক্রিয় পরিবহনে ব্যাঘাত ঘটে, মস্তিষ্কে কার্বোহাইড্রেটের বায়ব (aerobic) জারণ অসম্ভব হইয়া পড়ে এবং মৃত্যু ঘটিতে পারে। এজন্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিপাকজাত অ্যামোনিয়াকে দ্রুত রেচন করা অথবা যথাশীঘ্র তাহাকে অপেক্ষাকৃত কম বিষাক্ত বস্তুতে পরিণত করা প্রয়োজন। মাছ (teleost fish), জলনিবাসী উভচর প্রভৃতি জলচর প্রাণীর মূত্রে অ্যামোনিয়া অপরিবর্তিত আকারেই নির্গত হয়; এরূপ যে-সকল প্রাণীর মূত্রে অ্যামোনিয়াই প্রধান নাইট্রোজেন-ঘটিত বর্জ্য দ্রব্য (nitrogenous waste product), তাহাদের **অ্যামোনিয়া-রেচক প্রাণী (ammonotelic animals)** বলে। হাঙর, স্তন্যপায়ী, জলচর সরীসৃপ এবং স্থলবাসী উভচরের দেহে অ্যামোনিয়া অপেক্ষাকৃত নিষ্ক্রিয় ইউরিয়ায় পরিবর্তিত হয়; এই সকল প্রাণীর মূত্রে ইউরিয়াই মুখ্য নাইট্রোজেন-ঘটিত বর্জ্য দ্রব্য এবং ইহাদের **ইউরিয়া-রেচক প্রাণী (ureotelic animals)** বলে। আবার জলের দুর্লভতার জন্য পাখি ও বিশুষ্ক (arid) অঞ্চলীয় সরীসৃপের দেহে অ্যামোনিয়াকে আরও নিষ্ক্রিয় ও অদ্রাব্য ইউরিক অ্যাসিডে পরিবর্তিত করিয়া তাহাকে অল্প পরিমাণ মূত্রে

ভাসমান অবস্থায় রেচন করা হয় ; ইহাদের মূত্রে ইউরিক অ্যাসিডই মুখ্য নাইট্রোজেন-ঘটিত বর্জ্য দ্রব্য এবং ইহারা ইউরিক-রেচক প্রাণী (uricotelic animals) রূপে পরিচিত।

ইউরিয়া মানবদেহে মুখ্য নাইট্রোজেন-ঘটিত বর্জ্য দ্রব্য। প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তরস, লসিকা (lymph), ঘর্ম ও সেরিব্রোস্পাইন্যাল রসে ইউরিয়ার স্বাভাবিক গড় পরিমাণ যথাক্রমে 25, 23, 22 ও 10 মিলিগ্রাম। স্বাভাবিক অবস্থায় 24 ঘণ্টার মূত্রে প্রায় 20-30 গ্রাম ইউরিয়া বাহির হয়— মূত্রের মোট নাইট্রোজেনের প্রায় 85% ইউরিয়ার আকারে বর্তমান। মূত্রে ইউরিয়ার পরিমাণ খাদ্যে প্রোটিনের পরিমাণের সহিত প্রত্যক্ষভাবে সম্পর্কিত।

ইউরিয়া প্রধানতঃ যকৃতেই সংশ্লেষিত হয়। ইহার প্রমাণস্বরূপ বোলম্যান, মান ও মাগাথ দেখিয়াছিলেন যে, কুকুরের যকৃত অপসারণের পরে তাহার রক্তে অ্যামোনিয়া বাড়িতে ও ইউরিয়া কমিতে থাকে, কিন্তু যকৃত ও বৃক্ক উভয়েরই অপসারণের পরে রক্তে অ্যামোনিয়া বাড়িলেও ইউরিয়া মোটামুটি অপরিবর্তিত থাকে। ক্রেব্‌স্ ও হেন্‌সেলেইট বিভিন্ন কলার (tissue) পাতলা খণ্ডের সহিত ল্যাক্‌টেট, বাইকার্বনেট, অ্যামোনিয়াম লবণ এবং যৎসামান্য অর্নিথিন মিশাইয়া যথাযথ উষ্ণতায় ও অক্সিজেনের সংস্পর্শে

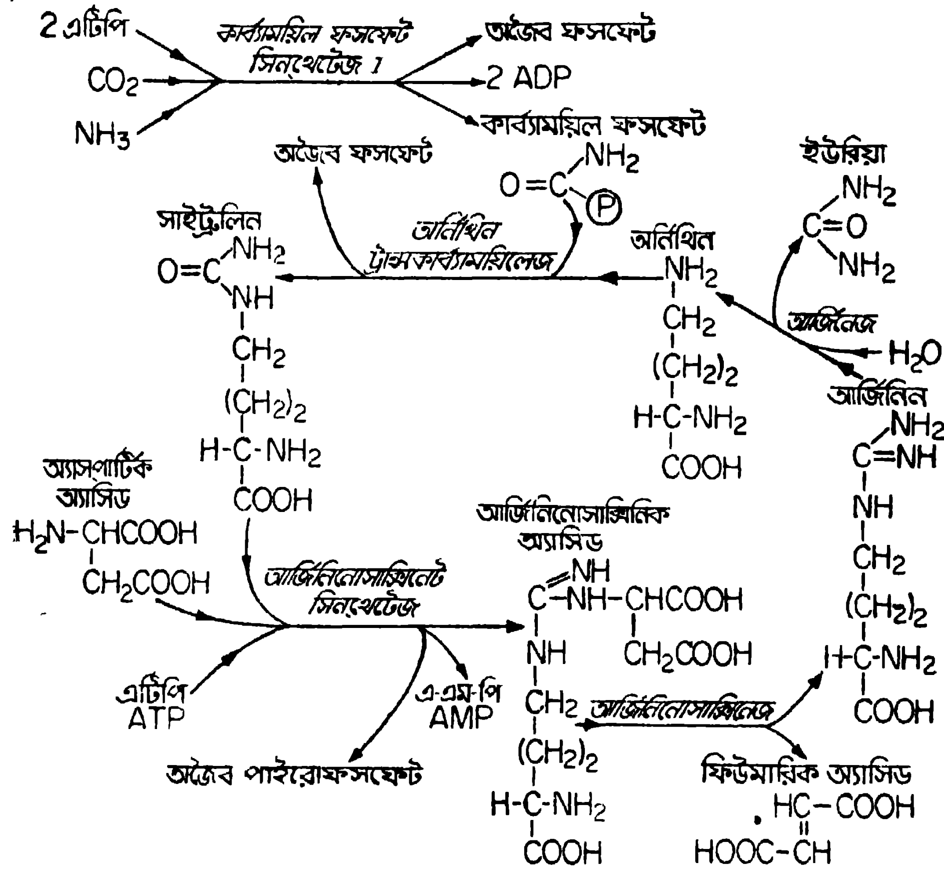


চিত্র 19.7. ক্রেব্‌স্ ও হেন্‌সেলেইটের মূল ইউরিয়া চক্র।

রাখিয়া দেখিতে পান যে, একমাত্র যকৃতের খণ্ডগুলিই পর্যাপ্ত পরিমাণে ইউরিয়া উৎপাদন করে এবং সামান্য পরিমাণে অর্নিথিন বা সাইট্রুলিনের উপস্থিতিতে উৎপাদনের হার যথেষ্ট বাড়িয়া যায়। অবশ্য মস্তিষ্ক ও বৃক্কেও অল্পস্বল্প ইউরিয়া সংশ্লেষিত হইতে পারে, কিন্তু যকৃতে উৎপন্ন ইউরিয়ার তুলনায় ইহার পরিমাণ নিতান্তই নগণ্য।

ক্রেব্‌স্ ও হেন্‌সেলেইট কর্তৃক প্রস্তাবিত ইউরিয়া চক্রে (urea cycle) ধারণা করা হইয়াছিল যে, এক অণু অ্যামোনিয়া ও এক অণু কার্বন ডাই-অক্সাইড অর্নিথিনের সহিত মিলিয়া সাইট্রুলিন উৎপন্ন করে এবং তাহার সহিত আরও এক অণু অ্যামোনিয়ার মিলনে আর্জিনিন উৎপন্ন হয়; সর্বশেষে আর্জিনেজের প্রভাবে আর্জিনিন ও জলের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া ইউরিয়া মুক্ত হইয়া যায় এবং অর্নিথিন পুনরুৎপন্ন হয় (চিত্র 19.7)। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখ্য যে, স্তন্যপায়ীর যকৃতে আর্জিনেজ বর্তমান; কিন্তু পাখির যকৃতে আর্জিনেজ নাই এবং পাখি ইউরিয়া উৎপাদনে অক্ষম।

উত্তরকালীন গবেষণার পরিপ্রেক্ষিতে ইউরিয়া চক্রের পদগুলিকে বিস্তারিত ভাবে বিবৃত করা সম্ভব হইয়াছে (চিত্র 19.8)।



চিত্র 19.8. ইউরিয়া সংশ্লেষণের আধুনিক মতবাদ।

1. যকৃতের মাইটোকন্ড্রিয়ায় কার্ব্যাময়িল ফসফেট সিন্‌থেটেজ I নামক এনজাইমের প্রভাবে অ্যামোনিয়া, কার্বন ডাই-অক্সাইড ও দুই অণু এটিপি-র বিক্রিয়া ঘটিয়া কার্ব্যাময়িল ফসফেট, অজৈব ফসফেট ও দুই অণু এডিপি উৎপন্ন হয়। উপরি-উক্ত এনজাইমটি ইউরিয়া চক্রের গতিনিয়ন্ত্রক এনজাইম

(rate-limiting enzyme) রূপে বিবেচিত হয়। এনজাইমটির ক্রিয়ার জন্য এন্-অ্যাসেটাইলগ্লুটামেট ও ম্যাগনেসিয়াম আয়নের উপস্থিতির প্রয়োজন। মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতরে ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে গ্লুটামেটের অণুতে আগত অ্যামাইনো বর্গ গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজেনেজের প্রভাবে অ্যামোনিয়ার আকারে মুক্তিলাভ করিয়া এই বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে (19.9 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

2. পরবর্তী পদে মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যেই অর্নিথিন ট্রান্সকার্ব্যামায়িলেজের প্রভাবে কার্ব্যামায়িল ফসফেটের কার্ব্যামায়িল বর্গটি অর্নিথিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডের অণুতে স্থানান্তরিত হইলে অর্নিথিন সাইট্রুলিনে পরিণত হয় এবং অজৈব ফসফেট মুক্তিলাভ করে।

3. ইহার পরে সাইট্রুলিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডটি মাইটোকন্ড্রিয়া হইতে যকৃত-কোষের সাইটোসলে বাহির হইয়া আসে ; সেখানে উহা এটিপি ও ম্যাগনেসিয়াম আয়নের উপস্থিতিতে আর্জিনিনোসাক্সিনেট সিন্‌থেটেজের ক্রিয়ায় অ্যাস্‌পার্টিক অ্যাসিডের সহিত মিলিয়া আর্জিনিনোসাক্সিনিক অ্যাসিড উৎপাদন করে। এই বিক্রিয়ার প্রয়োজনীয় শক্তি সরবরাহ করিবার জন্য এটিপি ভাঙ্গিয়া এ-এম-পি ও অজৈব পাইরোফসফেটে পরিণত হয়।

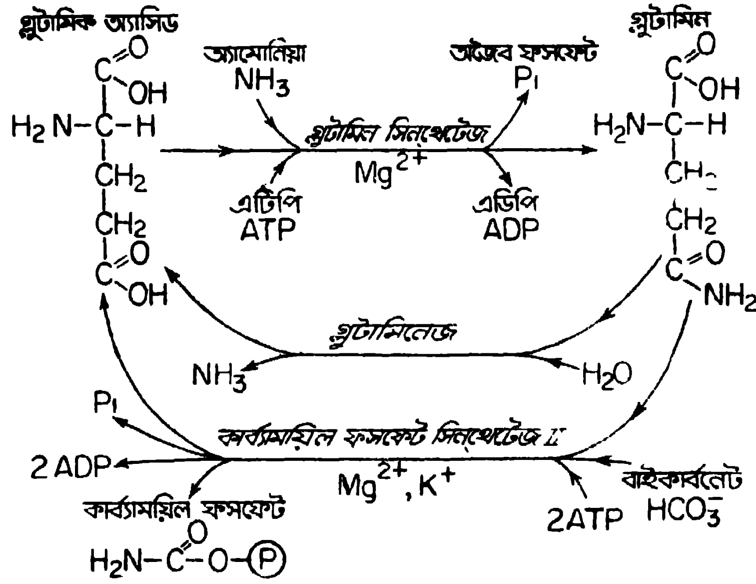
4. পরবর্তী পদে সাইটোসলে আর্জিনিনোসাক্সিনেজ বা আর্জিনিনোসাক্সিনেট লায়েজের (argininosuccinate lyase) ক্রিয়ায় আর্জিনিনোসাক্সিনেট বিশ্লিষ্ট হইয়া আর্জিনিন ও ফিউমারিক অ্যাসিড দান করে। শেষোক্ত বস্তুটি সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে অক্সালোঅ্যাসিটেটে পরিণত হয় এবং তাহা ট্রান্সঅ্যামাইনেজের ক্রিয়ায় অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে অ্যামাইনো বর্গ লাভ করিয়া অ্যাস্‌পার্টেট আকারে আবার আর্জিনিনোসাক্সিনেট উৎপাদনে প্রযুক্ত হয়।

5. ইউরিয়া চক্রের শেষ পদে যকৃত-কোষের সাইটোসলে আর্জিনেজ নামক ম্যাগনেসিয়াম-যুক্ত এনজাইমটির ক্রিয়ায় আর্জিনিন ও জলের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া ইউরিয়া মুক্ত হইয়া যায় এবং অর্নিথিন পুনরুৎপন্ন হয়। এইভাবে অর্নিথিনের অনুঘটক-সদৃশ (catalyst-like) ক্রিয়ার মাধ্যমে দুই অণু অ্যামোনিয়া (বা অ্যামাইনো বর্গ) ও এক অণু কার্বন ডাই-অক্সাইডের মিলন ঘটিয়া ইউরিয়া সৃষ্ট হয়।

পাখি, বিশুষ্ক (arid) অঞ্চলের সরীসৃপ এবং ব্যাঙ্গাচির যকৃতে কার্ব্যামায়িল ফসফেট সিন্‌থেটেজ I এবং আর্জিনেজ না থাকায় ঐ সকল প্রাণী ইউরিয়া সংশ্লেষণ করিতে পারে না। যকৃতে কার্ব্যামায়িল ফসফেট সিন্‌থেটেজের অভাব থাকায় পাখি আর্জিনিনও সংশ্লেষণ করিতে পারে না ; ফলে উহাদের পক্ষে আর্জিনিন অন্যতম অপরিহার্য (essential) অ্যামাইনো অ্যাসিড।

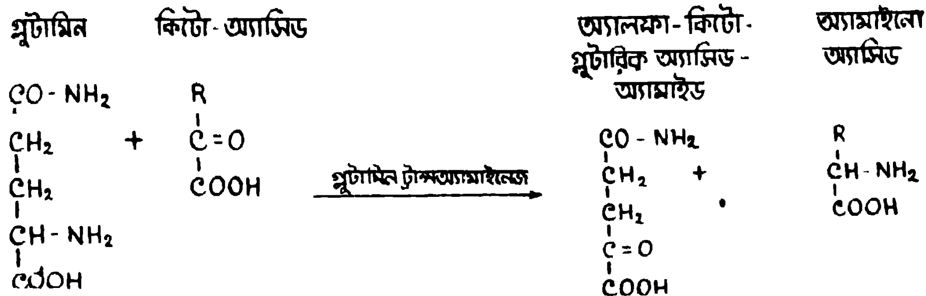
19.11 গ্লুটামিনের বিপাক

অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে ডিঅ্যামিনেশন এবং ট্রান্সডিঅ্যামিনেশনের ফলে উৎপন্ন অ্যামোনিয়া কিছু পরিমাণে যকৃত, বৃক্ক প্রভৃতি কলার মাইটোকন্ড্রিয়ায় এটিপি, ম্যাগনেসিয়াম আয়ন ও গ্লুটামিন সিন্থেটেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামিক অ্যাসিডের গামা-কার্বক্সিল বর্গে যুক্ত হইয়া যায় ; ফলে গ্লুটামিনের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 19.9) ।



চিত্র 19.9. গ্লুটামিনের সংশ্লেষণ ও বিপাক ।

গ্লুটামিনের অ্যাল্ফা-কার্বনে বাহিত অ্যামাইনো বর্গটি গ্লুটামিন ট্রান্স-অ্যামাইনেজের ক্রিয়ায় কোনও অ্যাল্ফা-কিটো অ্যাসিডের কিটোন বর্গের স্থলে স্থানান্তরিত হইলে শেষোক্ত অ্যাসিডটি একটি নূতন অ্যামাইনো অ্যাসিডে



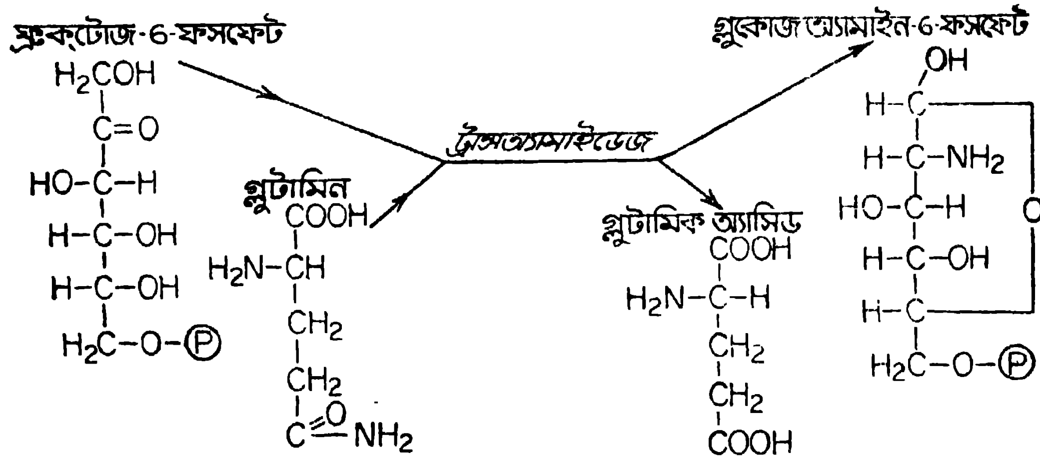
চিত্র 19.10. গ্লুটামিনের সাহায্যে ট্রান্সঅ্যামিনেশন ।

এবং গ্লুটামিন অ্যাল্ফা-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড অ্যামাইডে পরিণত হয় (চিত্র 19.10) । এভাবে গ্লুটামিন হইতে অ্যামাইনো বর্গ লাভ করিয়া গ্লাইঅক্সিলিক অ্যাসিড গ্লাইসিনে রূপান্তরিত হইতে পারে ।

যকৃতে নির্বিষকরণ (detoxication) পদ্ধতিতে ফিনাইলঅ্যাসেটিক অ্যাসিডের অণুতে গ্লূটামিন যোগ করিয়া নিষ্ক্রিয় ফিনাইলঅ্যাসেটাইল-গ্লূটামিন উৎপাদন করা হয়।

গ্লূটামিনের অ্যামাইড বর্গটি বিভিন্ন ট্রান্সঅ্যামাইডেজের ক্রিয়ায় নানা বস্তুর অণুতে স্থানান্তরিত হইতে পারে (**অ্যামাইড-স্থানান্তরণ বা ট্রান্স-অ্যামিডেশন**)। যথা :

(*a*) যকৃত ও অন্যান্য কলায় ট্রান্সঅ্যামাইডেজের ক্রিয়ায় গ্লূটামিনের অ্যামাইড বর্গটি ফ্রূক্টোজ-6-ফসফেটের দ্বিতীয় কার্বনে (C^2) স্থানান্তরিত হইলে গ্লূকোজঅ্যামাইন-6-ফসফেট উৎপন্ন হয় এবং গ্লূটামিন গ্লূটামেটে পরিণত হইয়া যায় (চিত্র 19.11)।



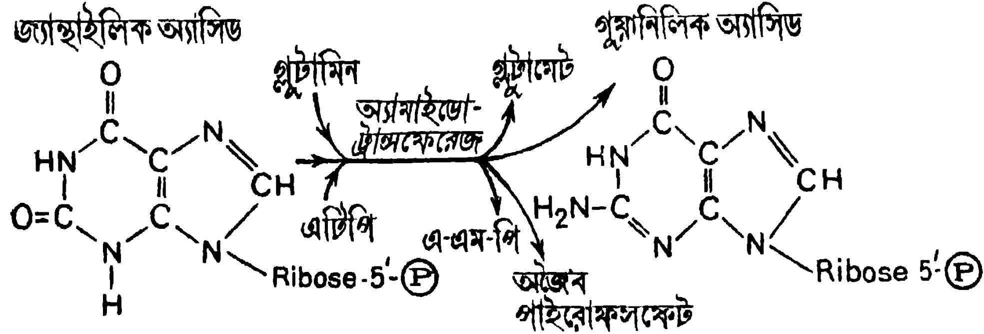
চিত্র **19.11.** ট্রান্সঅ্যামিডেশনের দ্বারা অ্যামাইনো শর্করার উৎপাদন।

(*b*) পিউরিন নিউক্লিওটাইড সংশ্লেষণের সময়ে দুইটি পদে ভিন্ন ভিন্ন ট্রান্সঅ্যামাইডেজের ক্রিয়ায় যথাক্রমে 5-ফসফোরাইবোসিল পাইরোফসফেট ও এন্-ফর্মিলগ্লাইসিনঅ্যামাইড রাইবোটাইডের অণুতে গ্লূটামিনের অ্যামাইড বর্গটি আসিয়া যুক্ত হইয়া নির্মীয়মান পিউরিন বলয়ের তৃতীয় ও নবম স্থানের নাইট্রোজেনে (N^3, N^9) পরিণত হয়।

(*c*) একটি অ্যামাইডোট্রান্সফেরেজ বা ট্রান্সঅ্যামাইডেজের ক্রিয়ায় গ্লূটামিন হইতে অ্যামাইড বর্গটি জ্যান্থাইলিক অ্যাসিডের পিউরিন বলয়ের দ্বিতীয় কার্বনে (C^2) গিয়া যুক্ত হইলে গুয়ানিলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.12)।

যকৃত ও অন্যান্য কলার সাইটোপ্লাজমে কার্ব্যামমিল ফসফেট সিন্থেটেজ

II এনজাইমটির ক্রিয়ায় গ্লুটামিনের অ্যামাইড বর্গটি এটিপি-র ফসফেট বর্গ এবং বাইকার্বনেটের কার্বন ডাই-অক্সাইড অংশের সহিত যুক্ত হইয়া কার্ব্যামায়ল ফসফেটের আকারে মুক্তিলাভ করে (চিত্র 19.9) এবং পরিণামে পিরিমিডিন সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়—গ্লুটামিনের অ্যামাইড বর্গই পিরিমিডিন বলয়ের তৃতীয় স্থানের নাইট্রোজেনের (N^3) উৎস (চিত্র 20.9)।



চিত্র 19.12. গুয়ানিলিক অ্যাসিড উৎপাদনে ট্রান্সঅ্যামিডেশন।

বৃক্কের মাইটোকন্ড্রিয়ায় গ্লুটামিনেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামিনের জলবিশ্লেষ ঘটিয়া উহার অ্যামাইড বর্গটি অ্যামোনিয়ার আকারে মুক্তিলাভ করে এবং মূত্রে ক্ষরিত হইয়া তাহার পরিবর্তে বৃক্কের টিবিউলে মূত্র হইতে সোডিয়ামের শোষণ সম্ভবপর করে (চিত্র 19.9)। দেহে অম্লাধিক্য (acidosis) ঘটিলে গ্লুটামিনেজের ক্রিয়া বাড়িয়া গ্লুটামিন হইতে অ্যামোনিয়ার উৎপাদন ও মূত্রে তাহার রেচন যথেষ্ট বৃদ্ধি পায়।

19.12 ক্রিয়াটিন বিপাক

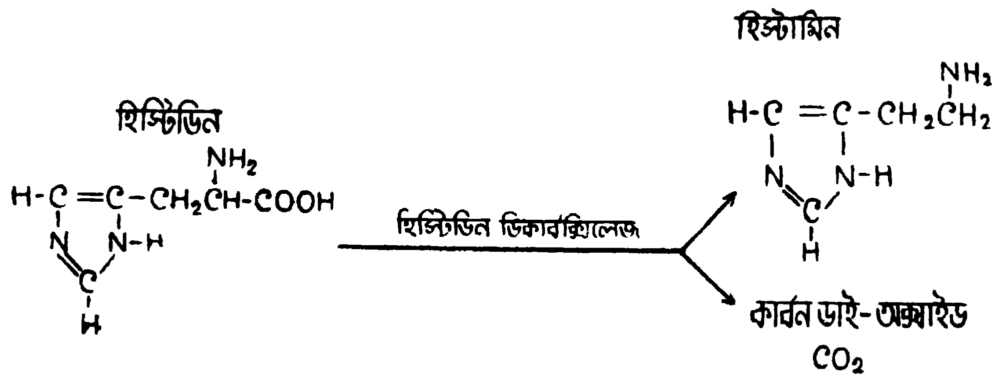
দেহের কলায় ক্রিয়াটিন : ক্রিয়াটিন নামক প্রোটিনেতর নাইট্রোজেন-ঘটিত যৌগটি (non-protein nitrogenous compound) প্রধানতঃ ক্রিয়াটিন ফসফেট আকারে বিভিন্ন কলায় বর্তমান। সরেখ (striated) পেশী ইহার প্রধান সঞ্চয়স্থল ; তদপেক্ষা অল্প পরিমাণে ক্রিয়াটিন ফসফেট যকৃত, অরেখ পেশী, হৃৎপেশী, বৃক্ক, জরায়ু, মস্তিষ্ক, শুক্রাশয় (testis) প্রভৃতিতে বর্তমান। স্তন্যপায়ীর সদ্য-সংগৃহীত সরেখ পেশীর প্রতি 100 গ্রামে প্রায় 500 মিলিগ্রাম ক্রিয়াটিন প্রায় সম্পূর্ণভাবেই ফসফেট-যৌগের আকারে বর্তমান। কিন্তু লোহিত রক্তকণিকায় ক্রিয়াটিন মুক্ত আকারেই থাকে। প্রতি 100 মিলিলিটার রক্তে ও রক্তরসে যথাক্রমে প্রায় 3-6 ও 0.1-0.5 মিলিগ্রাম ক্রিয়াটিন বর্তমান। বিভিন্ন দেহরসের প্রতি 100 মিলিলিটারে ক্রিয়াটিনের বিপাকজাত

পেশীতেই ক্রিয়াটিনিন উৎপন্ন হয়। এজন্যই নারীর মূত্রে পুরুষের তুলনায় ক্রিয়াটিনিন কম থাকে—পুরুষ ও নারীর মূত্রে ইহার দৈনিক গড় পরিমাণ যথাক্রমে 1.6 ও 1.2 গ্রাম। বৃক্কের গ্লোমেরিউলাসে রক্ত হইতে পরিস্রাবণের মাধ্যমে ক্রিয়াটিনিন মূত্রে আসে; টিবিউলে ইহার বিশেষ শোষণ বা ক্ষরণ ঘটে না। স্বাভাবিক অবস্থায় ক্রিয়াটিন মূত্রে অল্পই থাকে, তবে মধুমেহ (diabetes), গর্ভ, থাইরয়েড হর্মোনের আধিক্য, পেশীর ক্ষত বা আঘাত প্রভৃতি অবস্থায় মূত্রে ক্রিয়াটিন বাড়ে।

খাদ্যে ভিটামিন ই উপযুক্ত পরিমাণে না থাকিলে ইঁদুর, শশক, গিনিপিগ, বানর প্রভৃতির দেহে সরেখ পেশীর গঠন ও ক্রিয়া ব্যাহত হইয়া পেশীবিকৃতি (muscular dystrophy) ঘটে; এই অবস্থায় পেশীতে ক্রিয়াটিন ফসফেটের ভাঙ্গন বৃদ্ধি পাইয়া পেশীতে ক্রিয়াটিনের পরিমাণ কমে, রক্ত ও মূত্রে ক্রিয়াটিনের মাত্রাধিক্য ঘটে, কিন্তু মূত্রে ক্রিয়াটিনিনের পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে অথবা হ্রাস পায়। স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্কের মূত্রে ক্রিয়াটিনিনের পরিমাণ প্রায় একভাবে রক্ষিত হয়। দৈহিক ওজনের কিলোগ্রাম-প্রতি যত মিলিগ্রাম ক্রিয়াটিনিন 24 ঘণ্টার মূত্রে বাহির হয়, তাহাকে ক্রিয়াটিনিন কোএফিশিয়েণ্ট (creatinine coefficient) বলে; নারী ও পুরুষের ক্ষেত্রে ইহার মান যথাক্রমে প্রায় 18 ও 25।

19.13 অ্যামাইনো অ্যাসিডের ডিকার্বক্সিলেশন

অ্যামাইনো অ্যাসিড ডিকার্বক্সিলেজ গোষ্ঠীর এনজাইমগুলি অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল বর্গকে কার্বন ডাই-অক্সাইড আকারে মুক্ত করিয়া দিয়া অ্যামাইনো অ্যাসিডকে অ্যামাইনে পরিণত করে। এভাবে দেহে বিভিন্ন

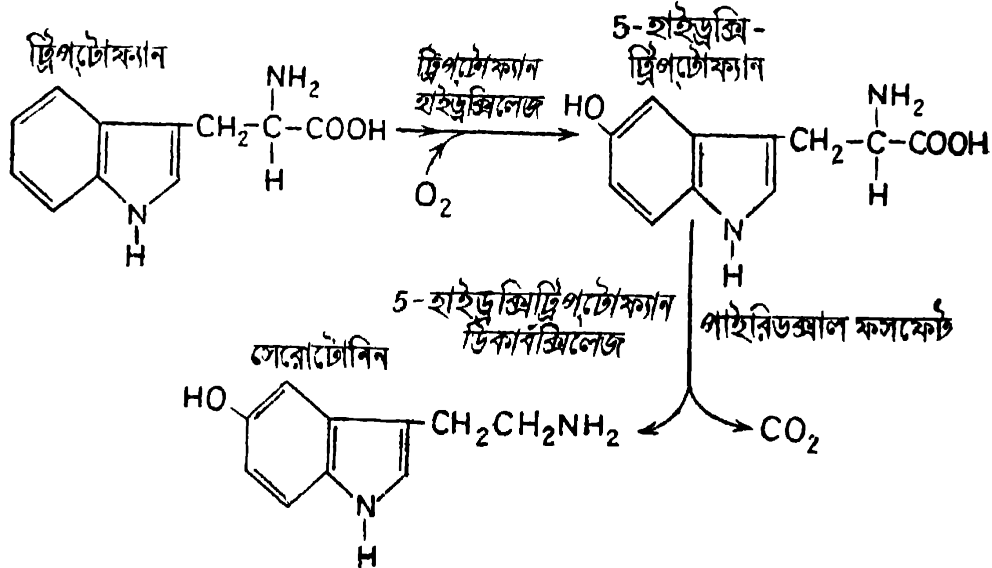


চিত্র 19.15. হিস্টামিন সংশ্লেষণ।

অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে নানাপ্রকার সক্রিয় জৈব অ্যামাইনের (active biological amines) উৎপত্তি ঘটে।

(a) হিস্টামিন উৎপাদন : পাকস্থলীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীর কোষে এবং যকৃতের মাস্ট কোষে **হিস্টিডিন ডিকার্বক্সিলেজের** ক্রিয়ায় হিস্টিডিন হইতে কার্বন ডাই-অক্সাইড মুক্ত হইয়া গিয়া হিস্টামিন উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.15)। ইহা পাকস্থলী-রসের ক্ষরণ উদ্দীপিত করে, রক্তবাহের প্রসারণ (vasodilatation) ঘটায় এবং রক্তচাপ কমাইয়া দিতে পারে।

(b) সেরোটোনিন উৎপাদন : পৌষ্টিক নালী, যকৃত প্রভৃতির কোষে একটি হাইড্রক্সিলেজের ক্রিয়ায় ট্রিপটোফ্যান জারিত হইলে 5-হাইড্রক্সিট্রিপ্‌টোফ্যান উৎপন্ন হয় এবং **5-হাইড্রক্সিটিপ্‌ট্রোফ্যান ডিকার্বক্সিলেজের** প্রভাবে তাহা হইতে কার্বন ডাই-অক্সাইড মুক্ত হইয়া গেলে সেরোটোনিন নামক সক্রিয় অ্যামাইনের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 19.16)। ইহা নার্ভীয় বিভবপ্রবাহের সংবাহক (neurotransmitter) হিসাবে কাজ করিতে পারে, রক্তবাহের সংকোচন (vasoconstriction) ঘটাইতে পারে এবং পিনিয়াল গ্রন্থিতে

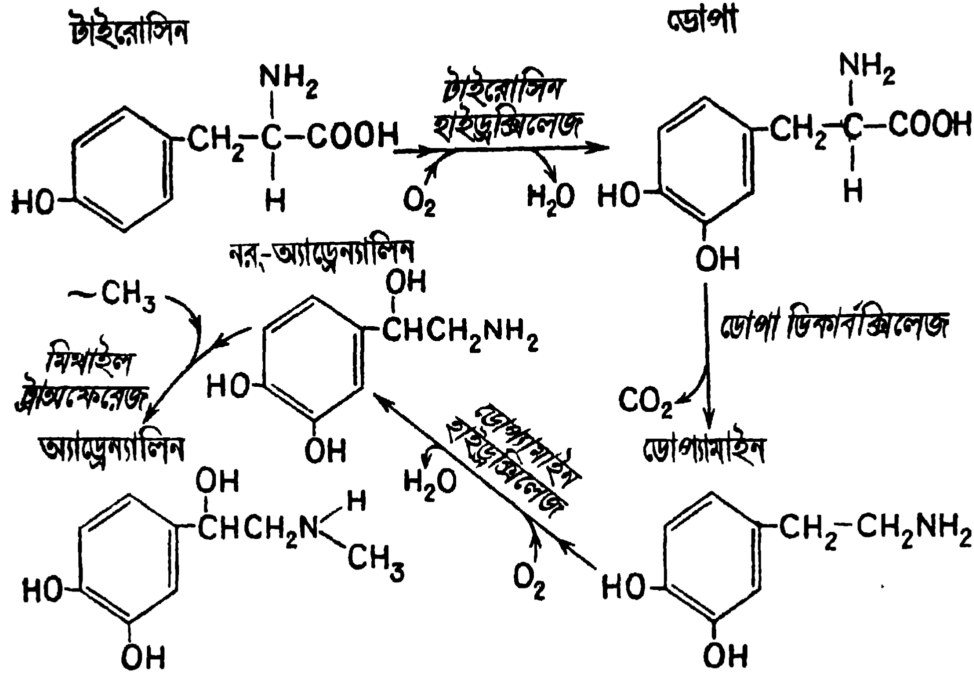


চিত্র 19.16. সেরোটোনিন সংশ্লেষণ।

তাহার হর্মোন মেলাটোনিনে পরিণত হইতে পারে। পাইরিডক্সাল ফসফেট উপরি-উক্ত ডিকার্বক্সিলেজটির প্রোটিনেতর (prosthetic) বর্গরূপে কাজ করে।

(c) ক্যাটেকলঅ্যামাইন উৎপাদন : অ্যাড্রেন্যালের মধ্যাংশ (medulla) ও নার্ভতন্ত্রে একটি হাইড্রক্সিলেজের ক্রিয়ায় টাইরোসিন জারিত হইলে ডোপা উৎপন্ন হয়। **ডোপা ডিকার্বক্সিলেজের** ক্রিয়ায় তাহা হইতে কার্বন ডাই-অক্সাইড মুক্ত হইয়া গিয়া ডোপ্যামাইনের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 19.17)। শেষোক্ত বস্তুটি ডোপ্যামাইন হাইড্রক্সিলেজের ক্রিয়ায় জারিত হইয়া নর্‌-

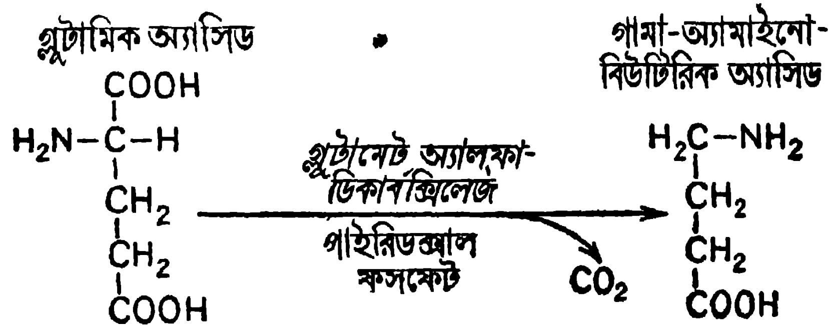
অ্যাড্রেন্যালিন নামক ক্যাটেকলঅ্যামাইনে পরিণত হয়। নর্-অ্যাড্রেন্যালিন নার্ভীয় বিভবপ্রবাহের সংবহনে (neurotransmission) সাহায্য করে,



চিত্র 19.17. ক্যাটেকলঅ্যামাইন হর্মোনগুলির সংশ্লেষণ।

অ্যাড্রেন্যালের মধ্যাংশের অন্যতম হর্মোনরূপে ক্ষরিত হয় এবং মিথাইল-ফেরেজের সাহায্যে মিথাইল বর্গ লাভ করিয়া অ্যাড্রেন্যালের অ্যাড্রেন্যালিন নামক ক্যাটেকলঅ্যামাইন হর্মোনে পরিবর্তিত হয়।

(d) গামা-অ্যামাইনোবিউটিরেট উৎপাদন : মস্তিষ্কে গ্লুটামেট অ্যাল্ফা-ডিকার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামিক অ্যাসিড হইতে অ্যাল্ফা-কার্বক্সিল বর্গটি

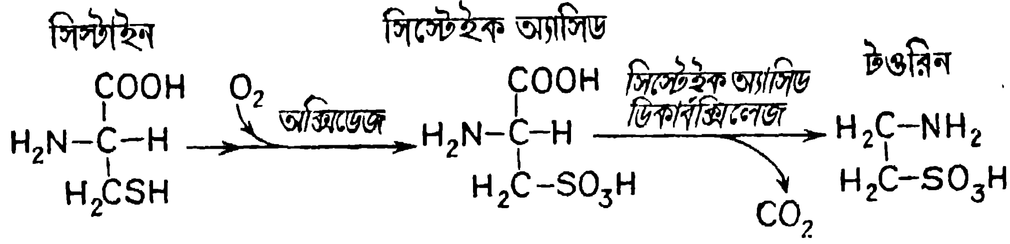


চিত্র 19.18. গামা-অ্যামাইনোবিউটিরেট উৎপাদন।

কার্বন ডাই-অক্সাইড আকারে মুক্তিলাভ করিলে নার্ভসংবহনের নিয়ন্ত্রক গামা-অ্যামাইনোবিউটিরিক অ্যাসিড নামক বস্তুটির উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 19.18)।

পাইরিডক্সাল ফসফেট এই ডিকার্বক্সিলেজটির প্রোটিনেতর (prosthetic) বর্গরূপে কাজ করে।

(e) টওরিন উৎপাদন : যকৃত-কোষে সিস্টাইন নামক গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডের জারণের ফলে সিস্টেইক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়; শেষোক্ত বস্তুটি সিস্টেইক অ্যাসিড ডিকার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় কার্বন ডাই-



চিত্র 19.19. পিত্তলবণের উপাদান টওরিনের উৎপত্তি।

অক্সাইড হারাইয়া টওরিন নামক গন্ধকযুক্ত অ্যামাইনে পরিণত হয় (চিত্র 19.19)। শেষোক্ত অ্যামাইন ও কোলিল-কো-এ অণুর বিক্রিয়ার ফলে টওরোকোলেট নামক পিত্তলবণের উৎপত্তি ঘটে (9.5 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

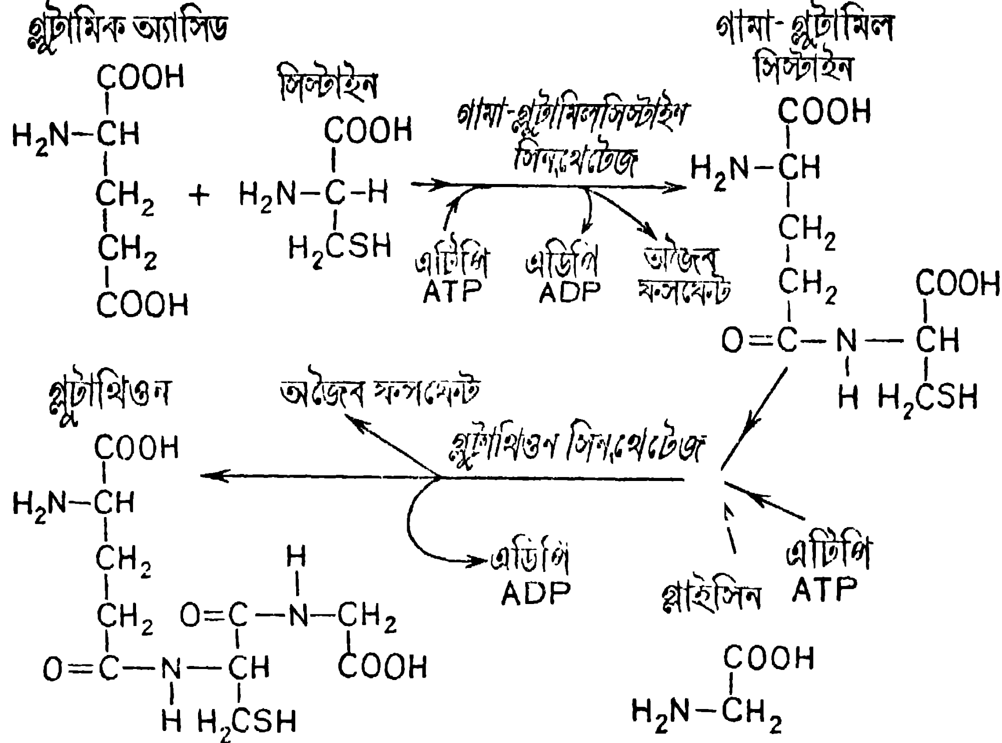
19.14 মেলানিন সংশ্লেষণ

ত্বক, চোখের কৃষ্ণমণ্ডল (choroid) প্রভৃতির কোষে টাইরোসিনেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় টাইরোসিনের জারণ ঘটিয়া প্রথমে ডোপা ও পরিণামে ডোপা কুইনোন উৎপন্ন হয়। শেষোক্ত বস্তুটি জারিত হইয়া, কার্বন ডাই-অক্সাইড হারাইয়া এবং সর্বশেষে পলিমারে পরিণত হইয়া মেলানিন নামক কৃষ্ণবর্ণ রঙ্গকের উৎপত্তি ঘটায়।

19.15 গ্লুটাথিওন সংশ্লেষণ

গ্লুটাথিওন বস্তুটি গ্লুটামেট, সিস্টাইন ও গ্লাইসিনে গঠিত একটি ট্রাই-পেপ্টাইড। দেহে বিজারক (reducing) পদার্থরূপে ইহার গুরুত্ব আছে। বহু এনজাইমের সাল্ফ্হাইড্রিল বর্গের জারণ নিবারণে এবং গ্লুটাথিওন পার্অক্সিডেজ নামক সেলেনিয়াম-এনজাইমের প্রভাবে পার্-অক্সাইডের বিজারণে গ্লুটাথিওনের ভূমিকা উল্লেখযোগ্য (16.15 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। সাইটো-প্লাজমে গামা-গ্লুটামিলসিস্টাইন সিন্থেটেজের ক্রিয়ায় এবং এটিপি-র সহায়তায় গ্লুটামিক অ্যাসিডের গামা-কার্বক্সিল বর্গ ও সিস্টাইনের অ্যাল্ফা-অ্যামাইনো বর্গের মধ্যে পেপ্টাইড বন্ধনী সৃষ্ট হইয়া গামা-গ্লুটামিলসিস্টাইন উৎপন্ন হয়

(চিত্র 19.20)। গ্লুটাথিওন সিন্‌থেটেজের ক্রিয়ায় শেষোক্ত বস্তুর সিস্টাইন অংশের কার্বক্সিল বর্গ গ্লাইসিনের অ্যামাইনো বর্গের সহিত পেপ্‌টাইড বন্ধনীর



চিত্র 19.20. গ্লুটাথিওন সংশ্লেষণ।

দ্বারা আবদ্ধ হইলে গ্লুটাথিওন উৎপন্ন হয়। উভয় বিক্রিয়ার সময়েই একটি করিয়া এটিপি অণু বিক্রিয়ায় সাহায্য করিয়া এডিপি ও অজৈব ফসফেটে পরিণত হয়।

19.16 ট্রান্সমিথাইলেশন বা মিথাইল-স্থানান্তরণ

দেহে যে সকল মিথাইল বর্গ এক অণু হইতে অন্যত্র স্থানান্তরিত হইতে পারে, তাহাদের **সচল মিথাইল বর্গ** (**labile methyl groups**) বলা হয়। মেথিওনিনের সচল মিথাইল বর্গটি মিথাইলফেরেজ বা মিথাইল ট্রান্সফেরেজ জাতীয় এনজাইমগুলির ক্রিয়ায় নানা বস্তুর অণুতে যুক্ত হইতে পারে (**ট্রান্স-মিথাইলেশন বা মিথাইল-স্থানান্তরণ**); এভাবেই মেলাটোনিন, এন্-মিথাইলনিকোটিনঅ্যামাইড, কোলিন, বিটেইন, অ্যাড্রেন্যালিন, ক্রিয়াটিন প্রভৃতি বস্তুর মিথাইল বর্গ মেথিওনিনের মিথাইল বর্গ হইতে উৎপন্ন হয়।

ট্রান্সমিথাইলেশনে অংশগ্রহণের পূর্বে মিথাইল অ্যাডেনোসিল ট্রান্স-ফেরেজের প্রভাবে এটিপি হইতে অ্যাডেনোসিল বর্গকে আনিয়া মেথিওনিনের

গন্ধকবর্গে যুক্ত করিয়া মেথিওনিনকে **এস্-অ্যাডেনোসিলমেথিওনিন** (S-adenosylmethionine) বা **সক্রিয় মেথিওনিনে** পরিণত করিয়া লওয়া হয় (চিত্র 16.1)। মানবদেহে এস্-অ্যাডেনোসিলহোমোসিস্টাইনকেও ট্রান্স-মিথাইলেশনের দ্বারা এস্-অ্যাডেনোসিলমেথিওনিনে পরিবর্তিত করা যায়। আবার এস্খেরিচিয়াম কোলাই নামক ব্যাকটেরিয়া একটি মিথাইলট্রান্সফেরেজ এনজাইম, ভিটামিন বি$_{12}$-ঘটিত কোব্যামাইড কোএনজাইম এবং সামান্য পরিমাণে এস্-অ্যাডেনোসিলমেথিওনিনের সাহায্যে এন্^{5}-মিথাইলটেট্রা-হাইড্রোফোলেট হইতে মিথাইল বর্গটিকে আনিয়া হোমোসিস্টাইন অণুতে যুক্ত করিয়া মেথিওনিন উৎপাদন করিতে পারে (চিত্র 19.21)।



চিত্র 19.21. এস্খেরিচিয়াম কোলাই ব্যাকটেরিয়ায় মেথিওনিন উৎপাদন।

সক্রিয় মেথিওনিনের মিথাইল বর্গটি ভিন্ন ভিন্ন মিথাইলফেরেজের ক্রিয়ায় বিভিন্ন মিথাইল-গ্রাহকের (methyl acceptor) অণুতে স্থানান্তরিত হইলে সক্রিয় মেথিওনিন এস্-অ্যাডেনোসিলহোমোসিস্টাইনে পরিণত হয়। দেহে এরূপ ট্রান্সমিথাইলেশনের কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ দৃষ্টান্ত নিম্নরূপ :

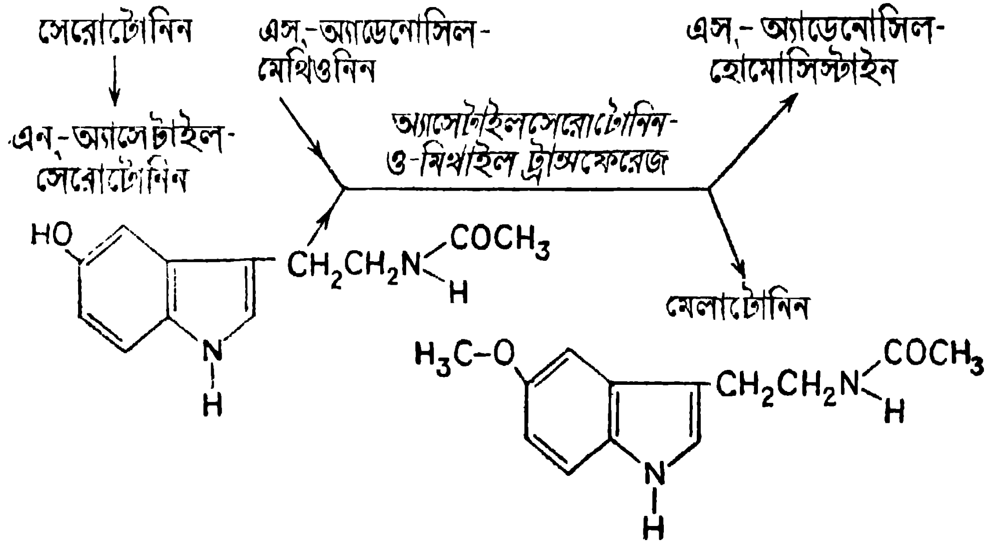
(a) **গুয়ানিডোঅ্যাসিটেট হইতে ক্রিয়াটিন উৎপাদন** : যকৃতে গুয়ানিডো-অ্যাসিটেট মিথাইলফেরেজের ক্রিয়ায় সক্রিয় মেথিওনিন হইতে মিথাইল বর্গ গুয়ানিডোঅ্যাসিটেট অণুতে গিয়া যুক্ত হইলে শেষোক্ত বস্তুটি ক্রিয়াটিনে পরিণত হয় (চিত্র 19.13)।

(b) **নিকোটিনঅ্যামাইডের নিষ্ক্রিয়করণ** (detoxication) : যকৃতে নিকোটিনঅ্যামাইড মিথাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় সক্রিয় মেথিওনিনের মিথাইল বর্গ নিকোটিনঅ্যামাইডের অণুতে গিয়া যুক্ত হইলে শেষোক্ত বস্তুটি এন্-মিথাইলনিকোটিনঅ্যামাইডে পরিণত হইয়া মূত্রে রেচিত হয় (চিত্র 16.1)।

(c) **অ্যাড্রেন্যালিন সংশ্লেষণ** : অ্যাড্রেন্যালের মধ্যাংশে (medulla) একটি মিথাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় সক্রিয় মেথিওনিনের মিথাইল বর্গটি

নর্-অ্যাড্রেন্যালিন অণুতে স্থানান্তরিত হইলে অ্যাড্রেন্যালিন উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.17)।

(d) মেলাটোনিন সংশ্লেষণ : পিনিয়াল গ্রন্থিতে সেরোটোনিন (19.13 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) হইতে উৎপন্ন এন্-অ্যাসেটাইলসেরোটোনিন একটি মিথাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় সক্রিয় মেথিওনিন হইতে মিথাইল বর্গ লাভ করিয়া মেলাটোনিনে পরিণত হয় (চিত্র 19.22)।



চিত্র 19.22. মেলাটোনিন সংশ্লেষণ।

(e) কোলিন ও বিটেইন সংশ্লেষণ : যকৃতে ভিন্ন ভিন্ন মিথাইল-ফেরেজের ক্রিয়ায় একাধিক এস্-অ্যাডেনোসিলমেথিওনিন অণু হইতে একে একে মিথাইল বর্গ আনিয়া ইথানলঅ্যামাইন অণুতে যুক্ত করিয়া তাহাকে মিথাইলঅ্যামাইনোইথানল ও ডাইমিথাইলঅ্যামাইনোইথানল পদের মাধ্যমে কোলিনে রূপান্তরিত করা হয় (চিত্র 19.23)। আবার শেষোক্ত বস্তুটি জারিত হইয়া যকৃতে বিটেইন উৎপন্ন করে।

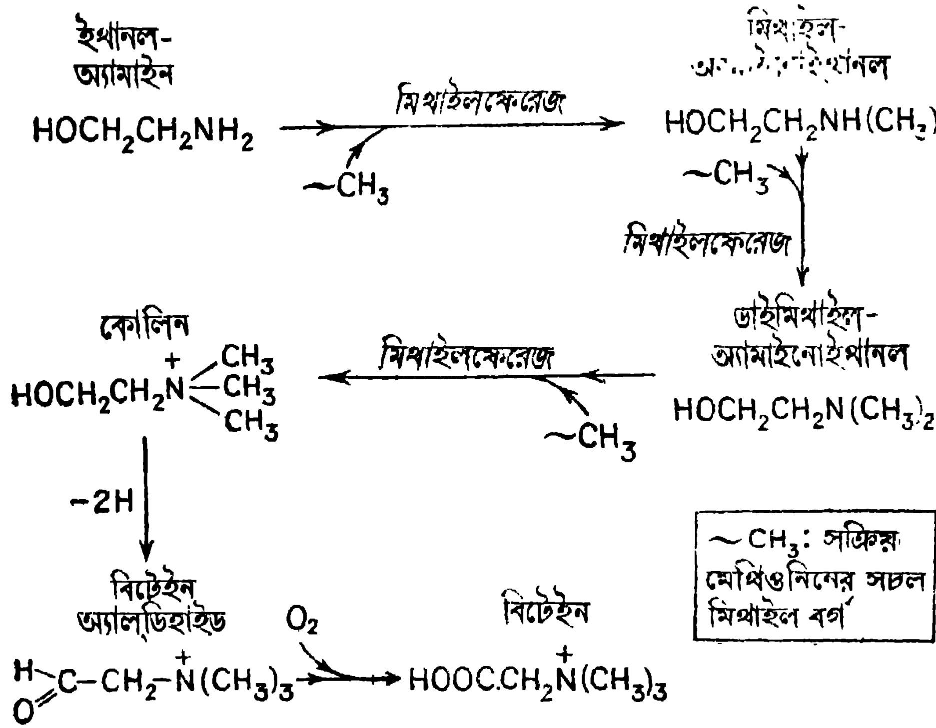
19.17 কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট ও প্রোটিন বিপাকের সম্পর্ক

দেহে কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট ও প্রোটিনের আংশিক বিপাকজাত বস্তুগুলি অনেকক্ষেত্রেই সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের (17.10 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) মাধ্যমে সম্পূর্ণ জারিত হইয়া যায় (চিত্র 19.24)। তাহা ছাড়া তাহারা নানাভাবে পরস্পরে রূপান্তরিত হইয়া থাকে।

(*a*) গ্লাইকোলিসিসের ফলে উৎপন্ন পাইরুভেট বায়ব জারণের (aerobic

oxidation) মাধ্যমে অ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন করে। অন্যদিকে পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ ও বায়োটিনের ক্রিয়ায় অল্পস্বল্প পাইরুভেটের সহিত কার্বন ডাই-অক্সাইড যুক্ত হইয়া অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় এবং তাহার সহিত বিক্রিয়ার মাধ্যমে পূর্বোক্ত অ্যাসেটাইল-কো-এ সাইট্রিক অ্যাসিডে পরিণত হইয়া সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে জারিত হয়।

(*b*) ফ্যাটের গ্লিসেরল অংশ অ্যাল্‌ফা-গ্লিসেরোফসফেট ও গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড-3-ফসফেট পদদ্বয়ের মাধ্যমে গ্লাইকোলিসিসের পথে প্রবেশ করে এবং ক্রমে গ্লাইকোলিসিস ও সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে জারিত হয়।



চিত্র 19.23. কোলিন ও বিটেইন সংশ্লেষণ।

(*c*) গ্লিসেরল হইতে উৎপন্ন গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড-3-ফসফেট যকৃতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের দ্বারা কার্বোহাইড্রেটে রূপান্তরিত হইতে পারে। আবার ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী, মেদকলা ও পেশীতে গ্লাইকোলিসিসের দ্বারা কার্বোহাইড্রেট হইতে উৎপন্ন গ্লিসের‍্যাল্‌ডিহাইড-3-ফসফেট ও ডাইহাইড্রক্সি-অ্যাসিটোন ফসফেট বিজারিত হইয়া অ্যালফা-গ্লিসেরোফসফেটে পরিণত হয় এবং তাহা ফ্যাট ও ফসফোলিপিড সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়।

(*d*) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি যকৃত, হৃৎপেশী ও মেদকলায় বিটা-জারণের (beta oxidation) ফলে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুতে পরিণত হয়; বিটা-

জারণের ফলে উৎপন্ন কিটোনবর্গীয় পদার্থগুলিও পেশী, বৃক্ক প্রভৃতি যকৃতেতর (extrahepatic) কলায় অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুতে রূপান্তরিত হয়। এসকল পদ্ধতিতে উৎপন্ন অ্যাসেটাইল-কো-এ অক্সালোঅ্যাসিটেটের সহিত বিক্রিয়ার মাধ্যমে সাইট্রেট উৎপন্ন করিয়া সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে জারিত হয়।

(*e*) যকৃত, স্তন ও মেদকলায় কার্বোহাইড্রেট হইতে উৎপন্ন সাইট্রিক অ্যাসিড সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় বিশ্লিষ্ট হইয়া অ্যাসেটাইল-কো-এ দান করে এবং তাহা হইতে উৎপন্ন ম্যালোনিল-কো-এ সাইটোপ্লাজমে দীর্ঘাণু ফ্যাটি অ্যাসিড সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।

চিত্র 19.24. কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট ও প্রোটিনের বিপাকের সম্পর্ক।

(*f*) দেহে অ্যালানিন, সিস্টাইন, সেরিন, থ্রিওনিন, অ্যাস্‌পার্টেট, গ্লুটামেট, মেথিওনিন, টাইরোসিন, ট্রিপ্‌টোফ্যান, ভ্যালিন, আইসোলিউসিন, আর্জিনিন প্রভৃতি অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিপাকের ফলে পাইরুভেট, অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট, সাক্সিনেট, প্রোপায়োনেট, ফিউমারেট, অক্সালোঅ্যাসিটেট প্রভৃতি শর্করাপ্রদ (glycogenic) বস্তুগুলি উৎপন্ন হয়। এগুলি একদিকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে জারিত হইতে এবং অন্যদিকে গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেটে পরিণত হইতে পারে।

(*g*) লিউসিন, লাইসিন, আইসোলিউসিন, টাইরোসিন ও ট্রিপ্‌টোফ্যানের বিপাকের ফলে উৎপন্ন অ্যাসেটাইল-কো-এ এবং অ্যাসেটোঅ্যাসিটেট যকৃত ও যকৃতেতর কলায় সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে জারিত হয়।

(*h*) কার্বোহাইড্রেটের বিপাকজাত পাইরুভিক, অক্সালোঅ্যাসেটিক প্রভৃতি অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডের অণুতে ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা অ্যামাইনো বর্গ যুক্ত হইলে কয়েকটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে।

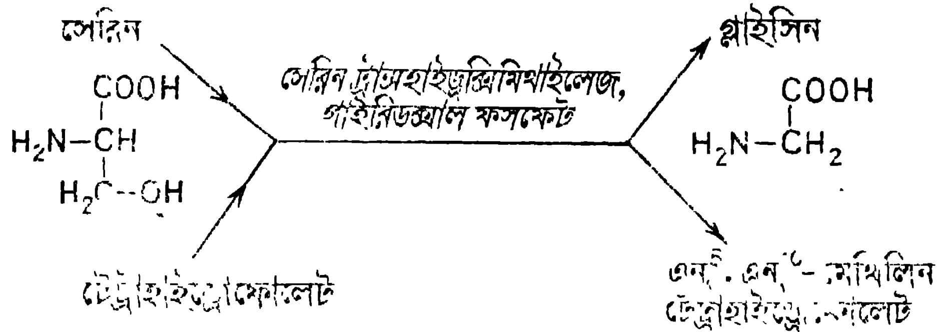
এইভাবে কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট ও প্রোটিনের বিপাকজাত বস্তুগুলির পরিণাম পরস্পর ঘনিষ্ঠভাবে সম্পর্কিত।

19.18 কয়েকটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিপাকের সংক্ষিপ্তসার

গ্লাইসিন : অনপরিহার্য (nonessential) অ্যামাইনো অ্যাসিড। ইহা তিনটি পদ্ধতিতে সংশ্লেষিত হইতে পারে :

(*a*) গ্লাইঅক্সিলিক অ্যাসিডের ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা।

(*b*) সেরিন ট্রান্সহাইড্রক্সিমিথাইলেজ, পাইরিডক্সাল ফসফেট ও টেট্রাহাইড্রোফোলেটের প্রভাবে সেরিনের বিটা-কার্বনটি মেথিলিন বর্গের আকারে অপসারিত হইলে সেরিন গ্লাইসিনে পরিবর্তিত হয় (চিত্র 19.25)।



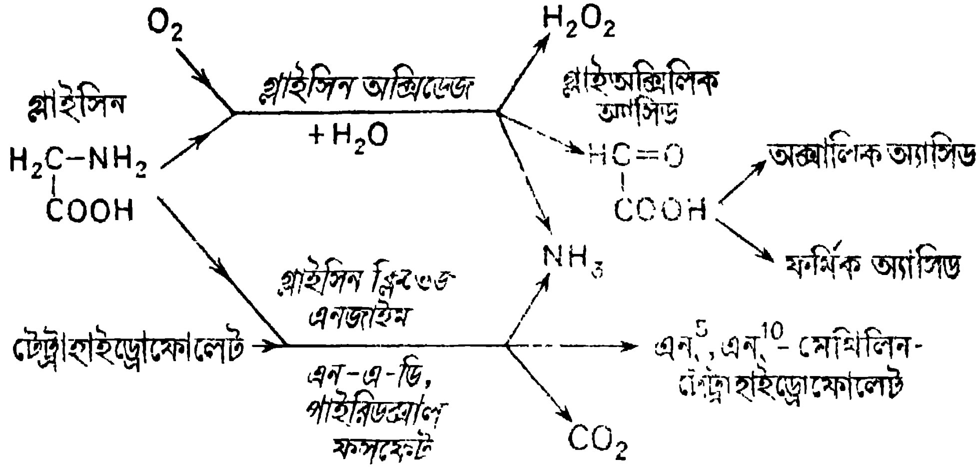
চিত্র 19.25. সেরিন হইতে গ্লাইসিনের উৎপাদন।

(*c*) কোলিনের জারণের ফলে উৎপন্ন বিটেইন হইতে তিনটি মিথাইল বর্গই একে একে অপসারিত হইলে বিটেইন গ্লাইসিনে পরিবর্তিত হয়।

প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত গ্লাইসিনের অন্যান্য মুখ্য পরিণাম :

(*i*) গ্লাইসিন ক্লিভেজ এনজাইম, এন-এ-ডি, পাইরিডক্সাল ফসফেট ও টেট্রাহাইড্রোফোলেটের ক্রিয়ায় গ্লাইসিনের বিশ্লেষ (dissociation) ঘটিয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড ও অ্যামোনিয়া মুক্তিলাভ করে এবং অণুর অবশিষ্ট কার্বনটি মেথিলিন বর্গের আকারে টেট্রাহাইড্রোফোলেট অণুতে সংলগ্ন হইয়া এন্^{5},এন্^{10}-মেথিলিনটেট্রাহাইড্রোফোলেট উৎপন্ন করে (চিত্র 19.26)। উক্ত ফোলেট-ঘটিত কোএনজাইমের সাহায্যে ঐ মেথিলিন বর্গটি নানা বস্তুর অণুতে যুক্ত হয়।

(*ii*) গ্লাইসিন অক্সিডেজের ক্রিয়ায় গ্লাইসিনের অক্সিডেটিভ ডিঅ্যামিনেশন ঘটিলে গ্লাইঅক্সিলিক অ্যাসিড এবং তাহা হইতে পরিণামে অক্সালিক বা ফর্মিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.26)।



চিত্র 19.26. গ্লাইসিনের অপচিতি।

(*iii*) যকৃত-কোষে কোলিল-কো-এ এবং গ্লাইসিনের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া গ্লাইকোকোলেট নামক পিত্তলবণের উৎপত্তি ঘটে (76 পৃষ্ঠা দ্রষ্টব্য)।

(*iv*) যকৃতে বেনজোয়িক অ্যাসিড, ফিনাইলঅ্যাসেটিক অ্যাসিড, নিকোটিনিক অ্যাসিড প্রভৃতির অণুতে গ্লাইসিন যোগ করিয়া উহাদের নিষ্ক্রিয় (detoxicate) করা হয় (81 পৃষ্ঠা দ্রষ্টব্য)।

(*v*) গ্লুটামেট ও সিস্টাইনের সহিত মিলিত হইয়া গ্লাইসিন গ্লুটাথিওনের সংশ্লেষণ ঘটায় (19.15 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

(*vi*) আর্জিনিনের অ্যামিডিন বর্গ ও মেথিওনিনের মিথাইল বর্গ গ্লাইসিনে যুক্ত হইলে ক্রিয়াটিন উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.13)।

(*vii*) সাক্সিনিল-কো-এ এবং গ্লাইসিনের বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন ডেল্টা-অ্যামাইনোলেভিউলিনেট হইতেই পরফিরিন সংশ্লেষিত হয়।

(*viii*) পিউরিন সংশ্লেষণে গ্লাইসিন অপরিহার্য—গ্লাইসিনই পিউরিন বলয়ের চতুর্থ ও পঞ্চম স্থানের কার্বন এবং সপ্তম স্থানের নাইট্রোজেনের (C^4, C^5, N^7) উৎস।

(*ix*) গ্লাইসিন শর্করাপ্রদ (glycogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিড।

অ্যালানিন : অনপরিহার্য (nonessential) ও শর্করাপ্রদ (glycogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিড। পাইরুভিক অ্যাসিডের ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারাই ইহা

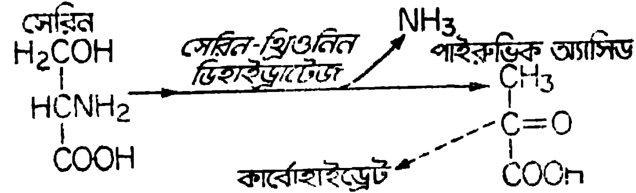
সংশ্লেষিত হয় (চিত্র 19.3)। প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত ইহার মুখ্য পরিণাম-গুলি নিম্নরূপ :

(*i*) ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা অ্যালানিনের অ্যামাইনো বর্গটি বিভিন্ন অ্যাল্‌ফা-কিটো অ্যাসিডের অণুতে কিটোন বর্গের স্থলাভিষিক্ত হইলে নূতন অ্যামাইনো অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে।

(*ii*) ট্রান্সঅ্যামিনেশন ও ডিঅ্যামিনেশনের দ্বারা অ্যামাইনো বর্গ হারাইয়া অ্যালানিন পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। শেষোক্ত বস্তুটি সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে সম্পূর্ণ জারিত হইতে পারে, আবার গ্লুকোনিওজেনে-সিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেটেও পরিণত হইতে পারে।

সেরিন : অনপরিহার্য (nonessential) ও শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড। কার্বোহাইড্রেটের গ্লাইকোলিসিসের পথে উৎপন্ন 3-ফসফো-গ্লিসেরিক অ্যাসিড হইতেই সেরিন প্রধানতঃ সংশ্লেষিত হয় (17.16 প্রসঙ্গ ও চিত্র 17.23 দ্রষ্টব্য)। প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত সেরিনের অন্যান্য মুখ্য পরিণাম নিম্নরূপ :

(*i*) সেরিন-থ্রিওনিন ডিহাইড্রাটেজের ক্রিয়ায় ডিঅ্যামিনেশনের দ্বারা সেরিন হইতে অ্যামোনিয়া মুক্ত হইয়া গেলে পাইরুভিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 19.27)। পাইরুভেট পরিণামে গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেটে রূপান্তরিত হয়।



চিত্র 19.27. সেরিনের অপচিতি।

(*ii*) সেরিন ফসফা-টিডিলসেরিন-জাতীয় কেফালিনের সংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে (18.8 প্রসঙ্গ ও চিত্র 18.28 দ্রষ্টব্য)।

(*iii*) পামিটিল-কো-এ অণুর সহিত মিলিয়া সেরিন স্ফিংগোসিন সংশ্লেষণ করে (18.8 প্রসঙ্গ ও চিত্র 18.30 দ্রষ্টব্য)।

(*iv*) টেট্রাহাইড্রোফোলেট, সেরিন ট্রান্সহাইড্রক্সিমিথাইলেজ ও পাইরি-ডক্সাল ফসফেটের ক্রিয়ায় সেরিনের বিটা-কার্বনটি বিচ্ছিন্ন হইয়া মেথিলিন বর্গের আকারে টেট্রাহাইড্রোফোলেটে যুক্ত হইলে এন^5,এন^{10}-মেথিলিনটেট্রা-হাইড্রোফোলেট ও গ্লাইসিন উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.25)।

থ্রিওনিন : অপরিহার্য (essential) ও শর্করাপ্রদ (glycogenic)

অ্যামাইনো অ্যাসিড। প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত ইহার অন্য মুখ্য পরিণামগুলি নিম্নরূপ :

(*i*) সেরিন-থ্রিওনিন ডিহাইড্রাটেজের ক্রিয়ায় ডিঅ্যামিনেশনের ফলে থ্রিওনিন হইতে অ্যামোনিয়া মুক্ত হইয়া গেলে অ্যালফা-কিটোবিউটারিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.5)।

(*ii*) থ্রিওনিন অ্যাল্‌ডোলেজের ক্রিয়ায় থ্রিওনিন বিশ্লিষ্ট হইয়া অ্যাসি-ট্যাল্‌ডিহাইড ও গ্লাইসিনের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 18.18)। থ্রিওনিনের বিপাক-জাত অ্যাল্‌ফা-কিটোবিউটিরেট ও গ্লাইসিন হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট উৎপন্ন হয়।

সিস্টাইন ও সিস্টিন : শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড। সিস্টাইন দেহে প্রধানতঃ দুইভাবে সংশ্লেষিত হয় :

(*a*) এস্‌-অ্যাডেনোসিলমেথিওনিন হইতে ট্রান্সমিথাইলেশনের মাধ্যমে মিথাইল বর্গ অপসারণের পরে যে এস্‌-অ্যাডেনোসিলহোমোসিস্টাইন অণু পড়িয়া থাকে, তাহার জলবিশ্লেষের ফলে হোমোসিস্টাইন উৎপন্ন হয়। শেষোক্ত বস্তুর সহিত সেরিনের বিক্রিয়ার ফলে সিস্টাথায়োনিনের উৎপত্তি ঘটে এবং একটি ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় উহার জলবিশ্লেষের দ্বারা সিস্টাইন ও হোমোসেরিন উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.28)।

(*b*) গ্লুটামিক অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গ ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা বিটা-মার্ক্যাপ্টোপাইরুভিক অ্যাসিডে যুক্ত হইলে শেষোক্ত বস্তুটি সিস্টাইনে রূপান্তরিত হয়।

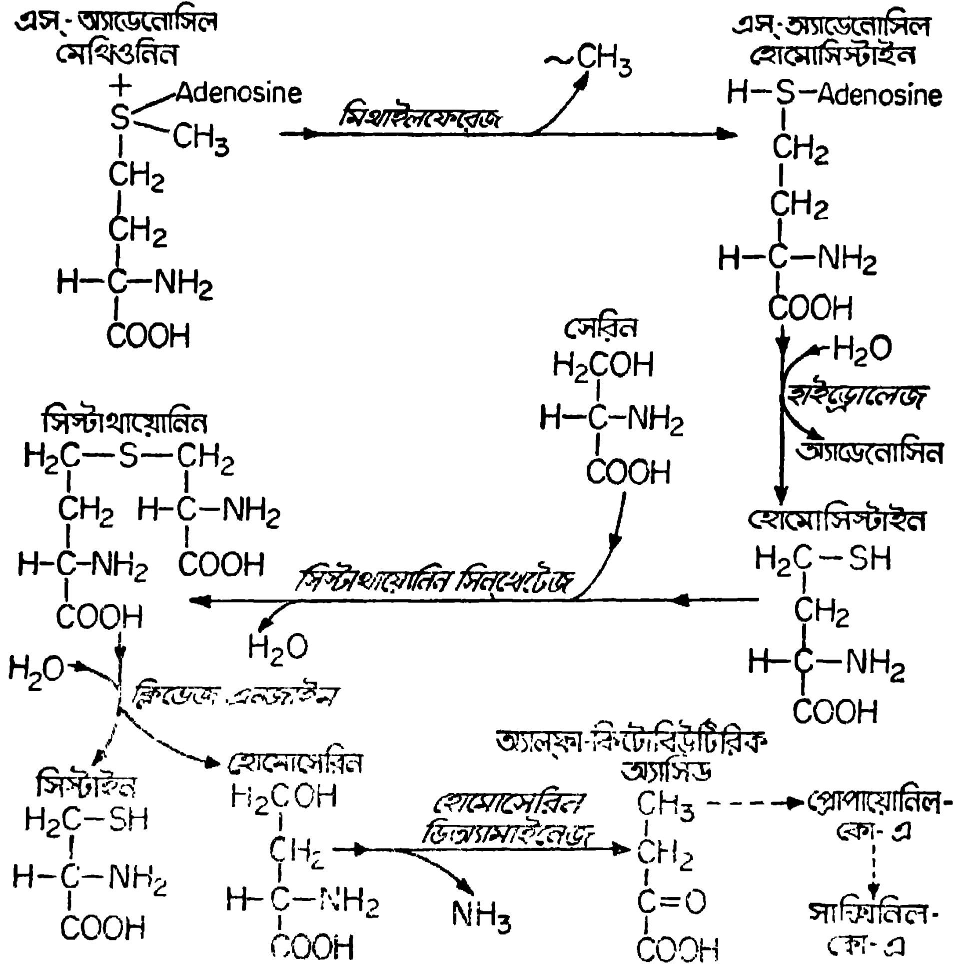
সিস্টাইন প্রোটিন অণুতে সন্নিবেশিত হওয়ার পরে দুই অণু সিস্টাইনের সাল্‌ফহাইড্রিল বর্গদ্বয় জারিত ও পরস্পর আবদ্ধ হইলে প্রোটিন অণুর মধ্যেই এক অণু সিস্টিন উৎপন্ন হয়। প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত সিস্টাইনের মুখ্য পরিণামগুলি নিম্নরূপ :

(*i*) সিস্টাইন ডিসাল্‌ফ্‌হাইড্রেজের ক্রিয়ায় ডিঅ্যামিনেশনের ফলে অ্যামোনিয়া ও হাইড্রোজেন সাল্‌ফাইড মুক্ত হইয়া গিয়া সিস্টাইন পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং শেষোক্ত বস্তুটি হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের দ্বারা কার্বোহাইড্রেটের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 19.5)।

(*ii*) ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা অ্যামাইনো বর্গ হারাইয়া সিস্টাইন বিটা-মার্ক্যাপ্টোপাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

(*iii*) দেহে জারণ ও ডিকার্বক্সিলেশনের মাধ্যমে সিস্টাইন টওরিনে পরিণত হয় এবং তাহা পিত্তলবণ সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয় (19.13 প্রসঙ্গ ও চিত্র 19.19 দ্রষ্টব্য)।

(*iv*) সিস্টাইন গ্লুটাথিওনের সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয় (19.15 প্রসঙ্গ ও চিত্র 19.20 দ্রষ্টব্য)।



চিত্র 19.28. মেথিওনিনের অপচিতি ও সিস্টাইনের সংশ্লেষণ।

(*v*) যকৃতে নানা হানিকর বস্তুর নিষ্ক্রিয়করণের (detoxication) সময়ে তাহাদের অণুতে সিস্টাইন এবং অ্যাসেটাইল বর্গ যোগ করিয়া মার্ক্যাপ্টিউরিক অ্যাসিড জাতীয় বর্জ্য দ্রব্য উৎপন্ন করা যায়।

মেথিওনিন : অপরিহার্য ও শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড। প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত দেহে ইহার অন্য মুখ্য পরিণামগুলি নিম্নরূপ :

(*i*) মেথিওনিনের সাল্‌ফ্‌হাইড্রিল বর্গে এটিপি হইতে অ্যাডেনোসিল বর্গ আসিয়া যুক্ত হইলে এস্-অ্যাডেনোসিলমেথিওনিন বা সক্রিয় মেথিওনিন

উৎপন্ন হয় এবং বিভিন্ন মিথাইল ট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় তাহার মিথাইল বর্গটি নানা বস্তুর অণুতে স্থানান্তরিত হয়। এভাবে মিথাইল-স্থানান্তরণের (transmethylation) মাধ্যমে মেথিওনিন দেহে কোলিন, বিটেইন, ক্রিয়াটিন ফসফেট, এন্-মিথাইলনিকোটিনঅ্যামাইড, মেলাটোনিন, অ্যাড্রেন্যালিন প্রভৃতি বহু বস্তুর সংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে (19.16 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

(*ii*) মিথাইল-স্থানান্তরণের মাধ্যমে মিথাইল বর্গ অপসারিত হইলে এস্-অ্যাডেনোসিলমেথিওনিন এস্-অ্যাডেনোসিলহোমোসিস্টাইনে পরিণত হয় এবং তাহা জলবিশ্লেষ ও সেরিনের সহিত বিক্রিয়ার মাধ্যমে সিস্টাথায়োনিন উৎপন্ন করে (চিত্র 19.28)। বিভিন্ন বিক্রিয়ার মাধ্যমে শেষোক্ত বস্তুটি পরিণামে অ্যালফা-কিটোবিউটিরেট, অ্যামোনিয়া ও সিস্টাইন উৎপন্ন করে। অ্যাল্ফা-কিটোবিউটিরেট হইতে প্রোপায়োনেট এবং তাহা হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট উৎপন্ন হয়।

অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড : অনপরিহার্য (nonessential) ও শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড। গ্লুটামেট-অক্সালোঅ্যাসিটেট ট্রান্সঅ্যামাইনেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামিক অ্যাসিড হইতে অ্যামাইনো বর্গটি আসিয়া অক্সালোঅ্যাসেটিক অ্যাসিডে যুক্ত হইলে শেষোক্ত বস্তুটি অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিডে পরিণত হয় (চিত্র 19.3)। প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিডের অন্যান্য মুখ্য পরিণাম নিম্নরূপ ·

(*i*) ট্রান্সঅ্যামিনেশনের মাধ্যমে অ্যামাইনো বর্গ হারাইয়া অ্যাস্পার্টেট অক্সালোঅ্যাসিটেটে পরিণত হয়।

(*ii*) যকৃতে আর্জিনিন ও ইউরিয়া সংশ্লেষণের সময়ে সাইট্রুলিনের সহিত অ্যাস্পার্টেটের মিলন ঘটিয়া আর্জিনিনোসাক্সিনেট উৎপন্ন হয় এবং তাহার বিশ্লেষ ঘটিয়া আর্জিনিন ও ফিউমারিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে (19.10 প্রসঙ্গ ও চিত্র 19.8 দ্রষ্টব্য)।

(*iii*) অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিড (AMP) সংশ্লেষণের সময়ে আইনোসিনিক অ্যাসিড ও অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিডের মিলনে অ্যাডেনাইলোসাক্সিনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় এবং তাহার বিশ্লেষ ঘটিয়া এ-এম্-পি ও ফিউমারিক অ্যাসিডের উদ্ভব ঘটে (চিত্র 20.7)।

(*iv*) পিউরিন বলয়ের প্রথম স্থানের নাইট্রোজেনের (N^1) উৎস অ্যাস্পার্টেটের অ্যামাইনো বর্গ। পিউরিন সংশ্লেষণের সময়ে এভাবে অ্যামাইনো বর্গ হারাইয়া অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড ফিউমারিক অ্যাসিডে পরিণত হয় (চিত্র 20.6)।

(*v*) অ্যাস্পার্টেজের ক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া মুক্ত হইয়া গেলে অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড ফিউমারিক অ্যাসিডে পরিবর্তিত হয়।

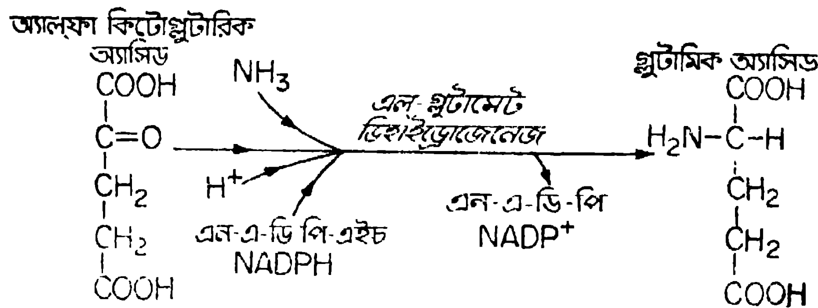
(*vi*) উপরি-উক্ত বিক্রিয়াগুলির ফলে অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড হইতে যে অক্সালোঅ্যাসিটেট ও ফিউমারেট উৎপন্ন হয়, সেগুলি গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেটে রূপান্তরিত হইয়া থাকে।

(*vii*) অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড পিরিমিডিন সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়—পিরিমিডিন বলয়ের প্রথম স্থানের নাইট্রোজেন এবং চতুর্থ, পঞ্চম ও ষষ্ঠ স্থানের কার্বনের (N^1, C^4, C^5, C^6) উৎস অ্যাস্পার্টেট (চিত্র 20.9)।

গ্লুটামিক অ্যাসিড : অনপরিহার্য (nonessential) ও শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড। ইহা দেহে প্রধানতঃ দুইভাবে সংশ্লেষিত হয় :

(*a*) ট্রান্সঅ্যামিনেশনের মাধ্যমে বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গ আসিয়া অ্যাল্ফা-কিটোগ্লুটারেটে যুক্ত হইলে উহা গ্লুটামেটে পরিণত হয় (চিত্র 19 3)।

(*b*) কোষের সাইটোপ্লাজমে এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH) ও এল্-গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় বিজারিত (reduced) হইয়া ও অ্যামোনিয়ার সহিত মিলিয়া অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট গ্লুটামেটে পরিণত হয় (চিত্র 19.29)।



চিত্র 19.29. গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামেটের সংশ্লেষণ।

প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত গ্লুটামেটের অন্যান্য মুখ্য পরিণাম নিম্নরূপ :

(*i*) বিভিন্ন ট্রান্সঅ্যামাইনেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামেটের অ্যামাইনো বর্গটি বিভিন্ন অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডে স্থানান্তরিত হইলে শেষোক্ত অ্যাসিডগুলি অ্যামাইনো অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং গ্লুটামেট হইতে অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেটের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 19.3)।

(*ii*) এন-এ-ডি (NAD^+) ও এল্-গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজেনেজের

ক্রিয়ায় গ্লুটামিক অ্যাসিড জারিত হইয়া ও অ্যামোনিয়া হারাইয়া অ্যাল্‌ফা-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিডে পরিণত হয় (চিত্র 19.6) ।

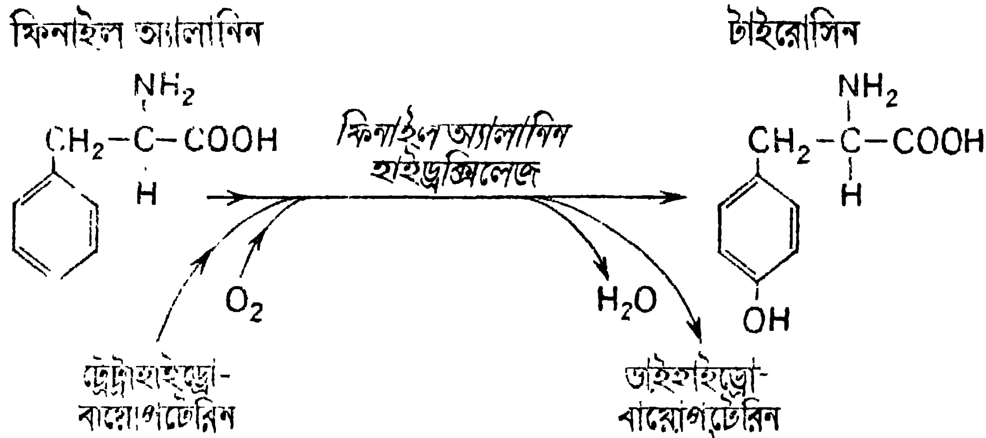
(*iii*) উপরি-উক্ত বিক্রিয়াদ্বয়ের মাধ্যমে গ্লুটামেট হইতে উৎপন্ন অ্যাল্‌ফা-কিটোগ্লুটারেট গ্লুকোনিওজেনেসিসের দ্বারা কার্বোহাইড্রেটে রূপান্তরিত হয় ।

(*iv*) গ্লুটামেট অ্যালফা-ডিকার্বাক্সিলেজের ক্রিয়ায় অ্যালফা-কার্বাক্সিল বর্গটি কার্বন ডাই-অক্সাইড আকারে মুক্ত হইয়া গিয়া গ্লুটামেট গামা-অ্যামাইনোবিউটিরেটে পরিণত হয় (চিত্র 19.18) ।

(*v*) গ্লুটামিন সিন্‌থেটেজ ও এটিপি-র সাহায্যে গ্লুটামেটের সহিত অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়া ঘটিয়া গ্লুটামিন উৎপন্ন হয় (19.11 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) ।

(*vi*) গ্লুটামিক অ্যাসিড গ্লুটাথিওন সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয় (19.15 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) ।

ফিনাইলঅ্যালানিন ও টাইরোসিন : প্রথমটি অপরিহার্য (essential) ও দ্বিতীয়টি অনপরিহার্য (nonessential) অ্যামাইনো অ্যাসিড । ইহারা শর্করা-কিটো-প্রদ (glycogenic-ketogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিড (19.3 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) । যকৃতে ফিনাইলঅ্যালানিন হাইড্রক্সিলেজের ক্রিয়ায় ফিনাইলঅ্যালানিনের জারণ ঘটিয়া টাইরোসিন উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.30)।



চিত্র 19.30. টাইরোসিনের সংশ্লেষণ ।

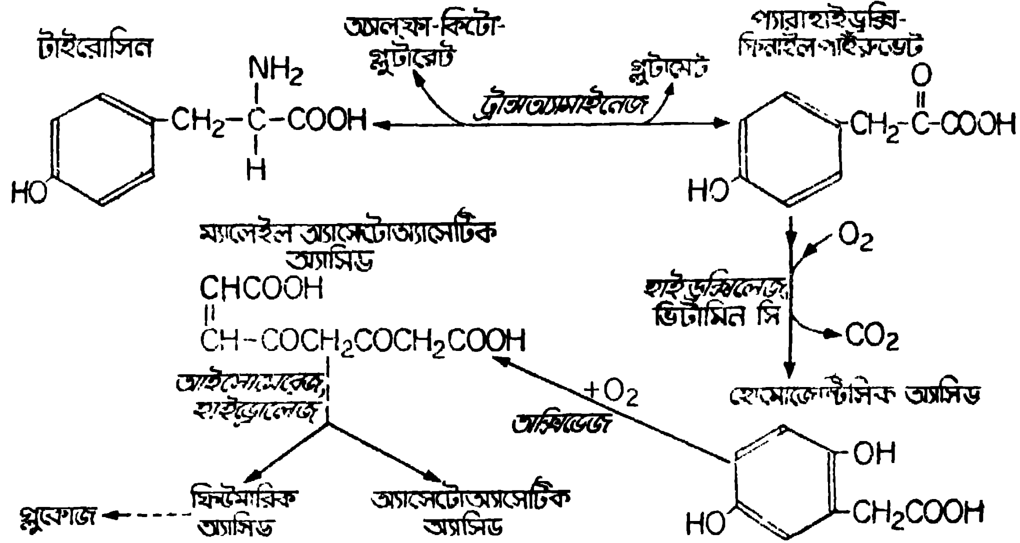
উভয় অ্যামাইনো অ্যাসিডই প্রোটিন সংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে । ইহা ছাড়া ফিনাইলঅ্যালানিনের বিপাক মুখ্যতঃ টাইরোসিনের মাধ্যমেই ঘটিয়া থাকে ।

(*i*) টাইরোসিনেজের ক্রিয়ায় টাইরোসিনের জারণের ফলে উৎপন্ন ডোপা হইতে মেলানিনের সংশ্লেষণ ঘটে (19.14 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) ।

(*ii*) অ্যাড্রেন্যালের মধ্যাংশে (medulla) এবং সমবেদী (sympathetic) নার্ভপ্রান্তে টাইরোসিন হইতে ক্যাটেকলঅ্যামাইন-বর্গীয় নর্-অ্যাড্রেন্যালিন ও অ্যাড্রেন্যালিন সংশ্লেষিত হয় (19.13 ও 19.16 প্রসঙ্গ এবং চিত্র 19.17 দ্রষ্টব্য)।

(*iii*) থাইরয়েড গ্রন্থিতে আয়োডিন যুক্ত করিয়া টাইরোসিন হইতে থাইরয়েড হর্মোনগুলি সংশ্লেষিত হয় (16.13 প্রসঙ্গ ও চিত্র 16.3 দ্রষ্টব্য)।

(*iv*) ট্রান্সঅ্যামিনেশনের মাধ্যমে অ্যামাইনো বর্গ হারাইয়া টাইরোসিন প্যারা-হাইড্রক্সিফিনাইলপাইরুভেটে পরিণত হয়; শেষোক্ত বস্তুটি হইতে হাইড্রক্সিলেজ ও ভিটামিন সি-ঘটিত কোএনজাইমের ক্রিয়ায় হোমোজেণ্টিসিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় এবং তাহা ক্রমে জারিত ও জলবিশ্লিষ্ট হইয়া অ্যাসেটোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড নামক কিটোনবর্গীয় পদার্থ এবং ফিউমারিক



চিত্র 19.31. টাইরোসিনের অপচিতি।

অ্যাসিড দান করে (চিত্র 19.31)। ফিউমারেট গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট সংশ্লেষণ করে।

ট্রিপ্‌টোফ্যান : অপরিহার্য (essential) এবং শর্করা-কিটো-প্রদ (glycogenic-ketogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিড। প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত ইহার অন্যান্য মুখ্য পরিণামগুলি নিম্নরূপ :

(*i*) যকৃতের মাস্ট কোষ, পৌষ্টিক নালীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী, মস্তিষ্ক প্রভৃতি কলায় ট্রিপ্‌টোফ্যান হইতে সেরোটোনিন সংশ্লেষিত হয় (19.13

প্রসঙ্গ ও চিত্র 19.16 দ্রষ্টব্য)। পিনিয়াল গ্রন্থিতে শেষোক্ত বস্তুটি হইতে মেলাটোনিনের উৎপত্তি ঘটে (19.16 প্রসঙ্গ ও চিত্র 19.22 দ্রষ্টব্য)।

(*ii*) অ্যারোমাটিক এল্-অ্যামাইনো অ্যাসিড ডিকার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় কার্বক্সিল বর্গটি কার্বন ডাই-অক্সাইড আকারে মুক্ত হইয়া গেলে ট্রিপ্‌টোফ্যান ট্রিপ্‌ট্যামাইনে পরিণত হয় ; শেষোক্ত বস্তুটি মোনোঅ্যামাইন অক্সিডেজের ক্রিয়ায় জারিত হইয়া ও অ্যামাইন বর্গটি হারাইয়া ইন্‌ডোলঅ্যাসেটিক অ্যাসিড দান করে।

(*iii*) ট্রিপ্‌টোফ্যান পাইরোলেজ, কাইনিউরেনিন 3-হাইড্রক্সিলেজ, কাইনিউরেনিনেজ প্রভৃতি এনজাইমের প্রভাবে ট্রিপ্‌টোফ্যানের বিপাক ঘটিয়া কাইনিউরেনিন, 3-হাইড্রক্সিকাইনিউরেনিন প্রভৃতি পদের মাধ্যমে অ্যালানিন ও 3-হাইড্রক্সিঅ্যান্‌থ্রানিলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় (চিত্র 19 32)।

চিত্র 19.32 ট্রিপ্‌টোফ্যানের কয়েকটি বিপাকপথ।

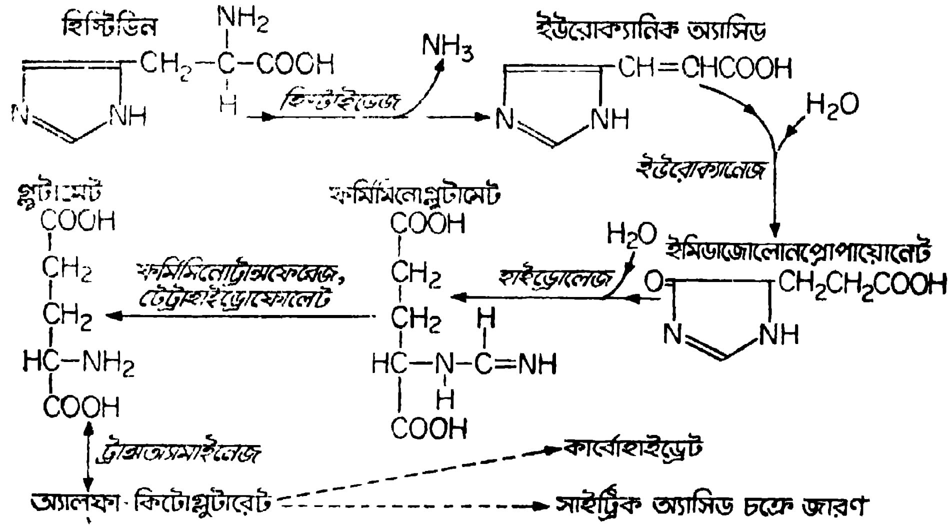
পরিণামে অ্যালানিন গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট উৎপন্ন করিতে পারে। পক্ষান্তরে 3-হাইড্রক্সিঅ্যানথ্রানিলেটের আরও অপচিতি ঘটিয়া অ্যাসেটোঅ্যাসেটিক অ্যাসিডের উৎপত্তি হয়।

(*iv*) ট্রিপ্‌টোফ্যানের বিপাকজাত 3-হাইড্রক্সিঅ্যান্‌থ্রানিলিক অ্যাসিড হইতে দেহে অল্পস্বল্প পরিমাণে নিকোটিনিক অ্যাসিড নামক ভিটামিনটি সংশ্লেষিত হয়।

হিস্টিডিন : অর্ধ-অপরিহার্য (semi-indispensable) ও শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড। প্রোটিন উৎপাদন ব্যতীত ইহার অন্যান্য মুখ্য পরিণাম নিম্নরূপ :

(*i*) যকৃতের মাস্ট কোষ, পাকস্থলীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী প্রভৃতি কলায় হিস্টিডিন ডিকার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় কার্বক্সিল বর্গটি অপসারিত হইলে হিস্টিডিন হিস্টামিনে পরিণত হয় (19.13 প্রসঙ্গ ও চিত্র 19.15 দ্রষ্টব্য)।

(*ii*) পেশীর কার্নোসিন ও অ্যান্সেরিন নামক দুইটি পেপ্‌টাইড হিস্টিডিনের সহিত বিটা-অ্যালানিনের সমন্বয়ে গঠিত। মস্তিষ্ক, যকৃত ও লোহিত কণিকার আর্গোথায়োনিন অণুতে হিস্টিডিন থাকে, কিন্তু সম্ভবতঃ বস্তুটি প্রধানতঃ খাদ্য হইতেই সংগৃহীত হয়।



চিত্র 19.33. হিস্টিডিনের অপচিতি।

(*iii*) যকৃতে হিস্টাইডেজের ক্রিয়ায় হিস্টিডিন হইতে ইউরোক্যানিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.33)। ইউরোক্যানেজ ও অন্যান্য এনজাইমের ক্রিয়ায় ইউরোক্যানিক অ্যাসিড ক্রমে গ্লুটামিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয় এবং শেষোক্ত বস্তুটির বিপাকপথের মাধ্যমেই অন্তিম পরিণতি লাভ করে। শর্করাপ্রদ গ্লুটামেটে পরিবর্তিত হইতে পারে বলিয়াই হিস্টিডিন হইতে দেহে গ্লুকোনিওজেনেসিস্ ঘটে।

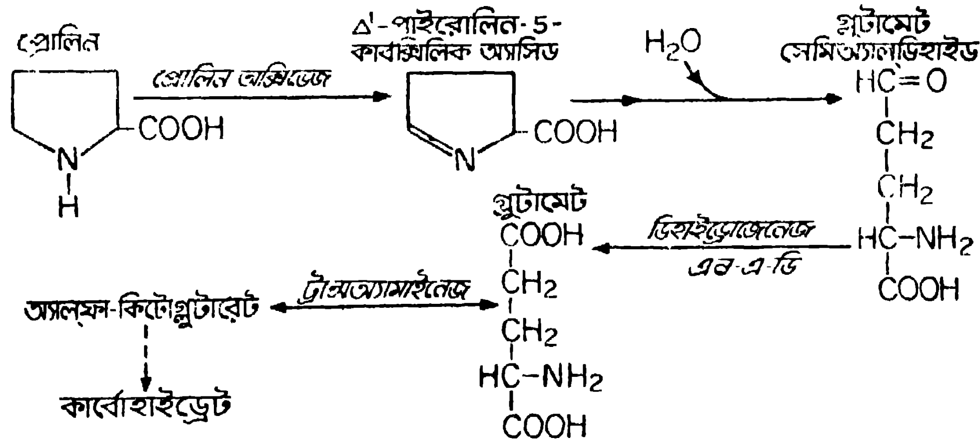
আর্জিনিন, অর্নিথিন ও সাইট্রুলিন : ইহারা পরস্পর-সম্পর্কিত ও শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড। যকৃতে ইউরিয়া চক্রের পদগুলির মাধ্যমেই অর্নিথিন হইতে সাইট্রুলিন ও আর্জিনিন উৎপন্ন হয়; এজন্যই পাখি, বিশুষ্ক (arid) অঞ্চলের সরীসৃপ প্রভৃতি যে-সকল প্রাণীর ইউরিয়া সংশ্লেষণ করিবার এনজাইম নাই, তাহারা আর্জিনিনও সংশ্লেষণ করিতে পারে না (19.10 প্রসঙ্গ ও চিত্র 19.8 দ্রষ্টব্য)। অর্নিথিন ও সাইট্রুলিন প্রোটিন সংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে না, কিন্তু আর্জিনিন প্রোটিন সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়। ইহাদের অন্যান্য মুখ্য পরিণামগুলি নিম্নরূপ :

(*i*) যকৃতে আর্জিনেজের ক্রিয়ায় আর্জিনিন হইতে ইউরিয়া ও

অর্নিথিন উৎপন্ন হয় (চিত্র 19.8)। শেষোক্ত বস্তুটি ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা অ্যালফা-অ্যামাইনো বর্গ হারাইয়া গ্লুটামেট সেমিঅ্যাল্ডিহাইডে পরিণত হয় এবং তাহা এন-এ-ডি ও ডিহাইড্রোজেনেজের প্রভাবে জারিত হইয়া গ্লুটামিক অ্যাসিড উৎপাদন করে। গ্লুটামেটের বিপাকপথের মাধ্যমেই এই অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির অন্তিম পরিণতি ও তাহাদের শর্করায় রূপান্তর ঘটে।

(*ii*) বৃক্কে আর্জিনিন ও গ্লাইসিনের বিক্রিয়ার ফলে অর্নিথিন ও গুয়ানিডোঅ্যাসিটেট উৎপন্ন হয় এবং শেষোক্ত বস্তুটি যকৃতে ক্রিয়াটিন ফসফেট উৎপাদন করে (19 12 প্রসঙ্গ ও চিত্র 19.13 দ্রষ্টব্য)।

প্রোলিন ও হাইড্রক্সিপ্রোলিন : অনপরিহার্য (nonessential) ও শর্করা-প্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড। দেহে গ্লুটামিক অ্যাসিড হইতে গ্লুটামেট সেমি-অ্যাল্ডিহাইড ও Δ^1-পাইরোলিন-5-কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের মাধ্যমে প্রোলিন



চিত্র 19.34. প্রোলিনের অপচিতি।

সংশ্লেষিত হয়। কোলাজেন নামক প্রোটিনের অপরিণত পেপ্টাইড শৃঙ্খলে প্রোলিন অণুগুলি যথাস্থানে সন্নিবেশিত হওয়ার পরে প্রোটোকোলা-জেন প্রোলিন হাইড্রক্সিলেজ ও ভিটামিন সি-ঘটিত কোএনজাইমের ক্রিয়ায় উক্ত প্রোলিনের জারণ ঘটিলে হাইড্রক্সিপ্রোলিনের উৎপত্তি ঘটে এবং কোলাজেন সুপরিণত হইয়া ওঠে। দেহে প্রোটিন (বিশেষতঃ কোলাজেন) সংশ্লেষণে প্রোলিন ও হাইড্রক্সিপ্রোলিনের উল্লেখযোগ্য ভূমিকা আছে।

প্রোলিন অক্সিডেজের প্রভাবে প্রোলিনের জারণ ঘটিয়া Δ^1-পাইরোলিন-5-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় এবং তাহা ক্রমে গ্লুটামেট সেমিঅ্যাল্ডি-হাইডের মাধ্যমে গ্লুটামিক অ্যাসিডে পরিণত হয় (চিত্র 19.34)। শেষোক্ত বস্তুর বিপাকপথের মাধ্যমেই প্রোলিন শর্করা উৎপাদন করে এবং অন্তিম পরিণতি লাভ করে।

লাইসিন : অপরিহার্য (essential) ও শর্করা-কিটো-প্রদ (glycogenic-ketogenic) অ্যামাইনো অ্যাসিড। প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত ইহার মুখ্য পরিণাম নিম্নরূপ :

(*i*) কোলাজেনের অপরিণত পেপ্‌টাইড শৃঙ্খলে লাইসিন অণুগুলি যথাস্থানে প্রবিষ্ট হওয়ার পরে তাহাদের কোনও-কোনওটি প্রোটোকোলাজেন লাইসিন হাইড্রক্সিলেজ ও ভিটামিন সি-এর প্রভাবে জারিত হইয়া 4-হাইড্রক্সি-লাইসিনে পরিণত হয় এবং কোলাজেন সুপরিণত হইয়া ওঠে।

(*ii*) অ্যাল্‌ফা-কিটোগ্লুটারেটের সহিত লাইসিনের মিলন ও বিজারণের ফলে স্যাকারোপাইনের উৎপত্তি হয়; ক্রমে শেষোক্ত বস্তুটির ভাঙ্গনের ফলে অ্যাসেটোঅ্যাসেটাইল-কো-এ উৎপন্ন হয়।

লাইসিনের ট্রান্সঅ্যামিনেশন ঘটে না এবং উহা হইতে শর্করা উৎপাদনের পথ সম্বন্ধে সঠিক জানা নাই।

ভ্যালিন, লিউসিন ও আইসোলিউসিন : অপরিহার্য (essential) অ্যামাইনো অ্যাসিড। ভ্যালিন শর্করাপ্রদ (glycogenic), লিউসিন কিটো-প্রদ (ketogenic) এবং আইসোলিউসিন শর্করা-কিটো-প্রদ (glycogenic-ketogenic)। প্রোটিন সংশ্লেষণ ব্যতীত ইহাদের মুখ্য বিপাকপথ নিম্নরূপ :

তিনটি অ্যামাইনো অ্যাসিডই ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা ভিন্ন ভিন্ন অ্যালফা-কিটো অ্যাসিডে পরিণত হয়; শেষোক্ত অ্যাসিডগুলি জারিত হইয়া, কার্বন ডাই-অক্সাইড হারাইয়া ও কোএনজাইম এ অণুর সহিত মিলিয়া বিভিন্ন অ্যাসাইল-কো-এ উৎপন্ন করে এবং সেগুলির জারণের ফলে নানা অ্যালফা,বিটা-অসংপৃক্ত অ্যাসাইল-কো-এ পাওয়া যায়; যথা, লিউসিন হইতে বিটা-মিথাইলক্রোটোনিল-কো-এ, আইসোলিউসিন হইতে টিগ্‌লিল-কো-এ এবং ভ্যালিন হইতে মিথাইলঅ্যাক্রাইলিল-কো-এ। এই তিন বস্তুর ভিন্ন ভিন্ন পথে বিপাকের ফলে প্রথমটি হইতে অ্যাসেটোঅ্যাসেটিক অ্যাসিড ও অ্যাসে-টাইল-কো-এ, দ্বিতীয়টি হইতে শর্করাপ্রদ প্রোপায়োনিল-কো-এ ও কিটোপ্রদ অ্যাসেটাইল-কো-এ, এবং তৃতীয়টি হইতে শর্করাপ্রদ সাক্সিনিল-কো-এ উৎপন্ন হয়।

বিংশ পরিচ্ছেদ

নিউক্লিওপ্রোটিন বিপাক
(Nucleoprotein metabolism)

পৌষ্টিক নালীতে নিউক্লিয়েজ, নিউক্লিওটাইডেজ ও নিউক্লিওসাইড ফসফোরিলেজ জাতীয় এনজাইমগুলির ক্রিয়ায় নিউক্লিওপ্রোটিনের নিউক্লিইক অ্যাসিড অংশের পরিপাক ঘটিয়া কিছু নিউক্লিওসাইড এবং অল্পাধিক পরিমাণে মুক্ত পিউরিন ও পিরিমিডিন উৎপন্ন হয়। এগুলি ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে শোষণের পরে নানাভাবে বিপাচিত (metabolized) হয়। দেহে অ্যামাইনো অ্যাসিড হইতে নানা প্রকার পিউরিন ও পিরিমিডিন সংশ্লেষিত হইয়া নিউক্লিওটাইড ও নিউক্লিইক অ্যাসিডের সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়।

20.1 পিউরিনের অপচিতি (purine catabolism)

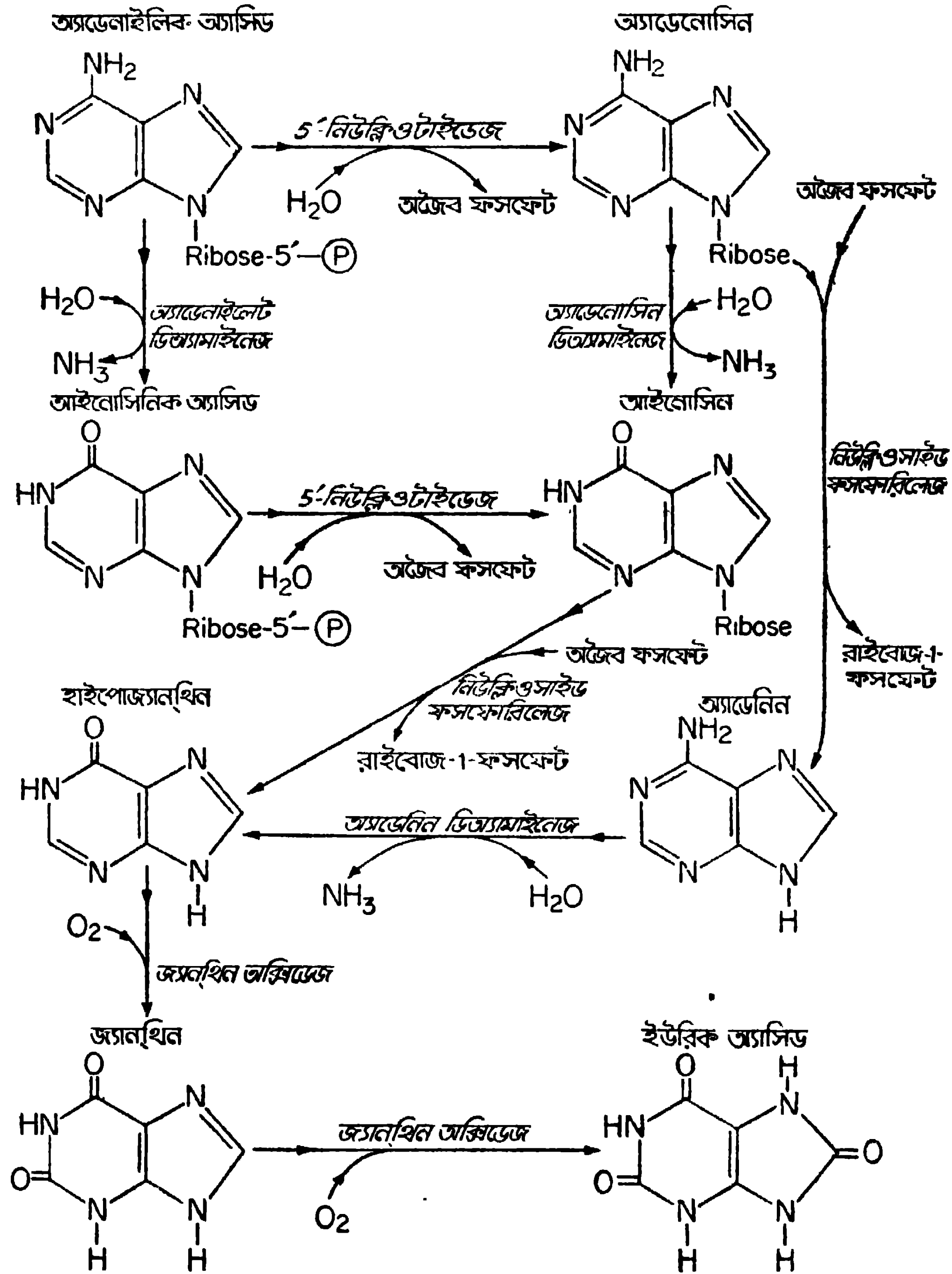
মানুষ, বনমানুষ, বানর, পাখি ও বিশুষ্ক (arid) অঞ্চলের সরীসৃপের যকৃতে পিউরিন নিউক্লিওটাইডগুলির অপচিতির ফলে ইউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিড (অ্যাডেনোসিন মোনোফসফেট বা এ-এম্-পি) নামক পিউরিন নিউক্লিওটাইডটির অপচিতি মানবদেহে দুইভাবে ঘটিতে পারে।

(*a*) সরেখ পেশীতে অ্যাডেনাইলেট ডিঅ্যামাইনেজের ক্রিয়ায় অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিডের পিউরিন বলয়ে সংলগ্ন অ্যামাইনো বর্গটি অ্যামোনিয়ার আকারে মুক্ত হইয়া গেলে আইনোসিনিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 20.1)। শেষোক্ত বস্তুটি 5′-নিউক্লিওটাইডেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইলে অজৈব ফসফেট ও আইনোসিন নামক নিউক্লিওসাইডটির উৎপত্তি ঘটে। নিউক্লিওসাইড ফসফোরিলেজের প্রভাবে আইনোসিন ও অজৈব ফসফেটের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে আইনোসিনের ফসফো-বিশ্লেষ (phosphorolysis) ঘটিয়া হাইপোজ্যান্থিন নামক পিউরিন ও রাইবোজ-1-ফসফেট উৎপন্ন হয়। অতঃপর জ্যান্থিন অক্সিডেজের ক্রিয়ায় উত্তরোত্তর জারণের ফলে হাইপোজ্যান্থিন জ্যান্থিনে এবং জ্যান্থিন ইউরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

(*b*) হৃৎপেশী ও যকৃতে অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিড প্রথমে 5′-নিউক্লিওটাইডেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট হইয়া অজৈব ফসফেট ও অ্যাডেনোসিন নামক

নিউক্লিওসাইড দান করে। অ্যাডেনোসিন ডিঅ্যামাইনেজের ক্রিয়ায় শেষোক্ত বস্তুটির পিউরিন বলয়ে সংলগ্ন অ্যামাইনো বর্গটি অ্যামোনিয়ার আকারে মুক্ত হইয়া গেলে আইনোসিনের উৎপত্তি ঘটে। অতঃপর আইনোসিন পূর্ববর্তী ছত্রে বর্ণিত পথেই ইউরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।



চিত্র 20.1. অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিডের অপচিতির ফলে ইউরিক অ্যাসিডের উৎপাদন।

অমেরুদণ্ডী প্রাণী ও ব্যাকটেরিয়ার ক্ষেত্রে অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিডকে প্রথমে 5′-নিউক্লিওটাইডেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লিষ্ট করিয়া অ্যাডেনোসিনে এবং তাহাকে নিউক্লিওসাইড ফসফোরিলেজের ক্রিয়ায় ফসফো-বিশ্লেষের মাধ্যমে অ্যাডেনিনে পরিণত করিয়া লইতে হয়। ইহার পরে অ্যাডেনিন ডি-অ্যামাইনেজ বা অ্যাডেনেজের ক্রিয়ায় অ্যাডেনিনের অ্যামাইনো বর্গটিকে অ্যামোনিয়া রূপে মুক্ত করিয়া দিলে হাইপোজ্যান্থিন উৎপন্ন হয় এবং তাহা জ্যান্থিন অক্সিডেজের ক্রিয়ায় উত্তরোত্তর জারিত হইয়া ইউরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। কিন্তু মানবদেহে অ্যাডেনেজ না থাকায় সেখানে এভাবে মুক্ত অ্যাডেনিনের অপচিতি ঘটে না।

মানুষ, বনমানুষ, বানর প্রভৃতি প্রাণীর দেহে গুয়ানিলিক অ্যাসিড (গুয়ানোসিন মোনোফসফেট বা জিএম্‌পি) নামক পিউরিন নিউক্লিওটাইড-টির অপচিতি মুখ্যতঃ দুইভাবে ঘটে।

(*a*) যকৃত, অগ্ন্যাশয়, বৃক্ক প্রভৃতি কলায় 5′-নিউক্লিওটাইডেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লেষ ঘটিয়া গুয়ানিলিক অ্যাসিড অজৈব ফসফেট ও গুয়ানোসিন নামক নিউক্লিওসাইডে পরিণত হয় (চিত্র 20.2)। নিউক্লিওসাইড ফসফোরি-লেজের ক্রিয়ায় অজৈব ফসফেটের সহিত বিক্রিয়ার মাধ্যমে গুয়ানোসিনের ফসফো-বিশ্লেষ (phosphorolysis) ঘটিয়া রাইবোজ-1-ফসফেট ও মুক্ত গুয়ানিন উৎপন্ন হয়। অতঃপর গুয়ানিন ডিঅ্যামাইনেজ বা গুয়ানেজের ক্রিয়ায় গুয়ানিনের অ্যামাইনো বর্গটি অ্যামোনিয়ার আকারে মুক্ত হইয়া গেলে জ্যান্থিন উৎপন্ন হয় এবং শেষোক্ত বস্তুটি জ্যান্থিন অক্সিডেজের ক্রিয়ায় জারিত হইলে ইউরিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে।

(*b*) 5′-নিউক্লিওটাইডেজের ক্রিয়ায় জলবিশ্লেষের ফলে গুয়ানিলিক অ্যাসিড হইতে যে গুয়ানোসিন উৎপন্ন হয়, তাহার কিয়দংশ যকৃতে গুয়ানোসিন ডিঅ্যামাইনেজের প্রভাবে অ্যামাইনো বর্গ হারাইয়া জ্যান্থোসিন উৎপন্ন করিতে পারে। নিউক্লিওসাইড ফসফোরিলেজের প্রভাবে জ্যান্থোসিন ও অজৈব ফসফেটের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে রাইবোজ-1-ফসফেট ও জ্যান্থিনের উৎপত্তি ঘটে। জ্যান্থিন অক্সিডেজের ক্রিয়ায় জারিত হইয়া জ্যান্থিন ইউরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

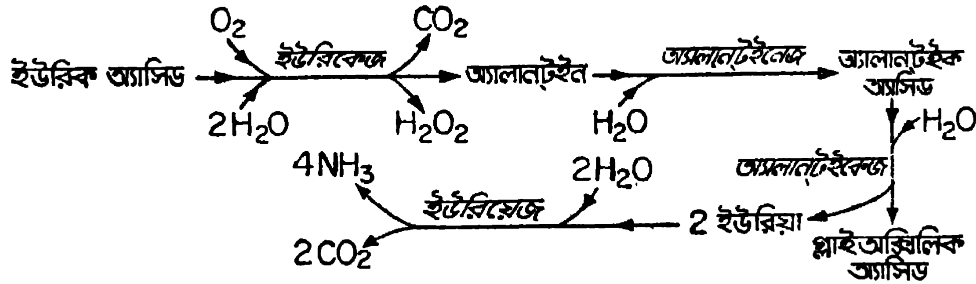
মানুষ, বনমানুষ, পাখি, অনেক পতঙ্গ, সাপ, গোসাপ প্রভৃতির দেহে ইউরিক অ্যাসিডই পিউরিন বিপাকের শেষ পদ। কিন্তু কয়েক জাতের পতঙ্গ, উদরপদী শম্বুক (Gastropod mollusc), কাছিম এবং গোমহিষাদি

প্রাণীর দেহে ইউরিকেজ নামক তাম্র-ঘটিত এনজাইমের ক্রিয়ায় ইউরিক অ্যাসিড জারিত হইয়া ও কার্বন ডাই-অক্সাইড হারাইয়া অ্যালান্টইন উৎপাদন করে এবং উহাই ইহাদের পিউরিন-বিপাকের শেষ পদ (চিত্র 20.3) । আবার কতকগুলি মাছের দেহে অ্যালান্টইনেজের ক্রিয়ায় অ্যালান্টইন জলযুক্ত (hydrated) হইয়া অ্যালান্টইক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং ইহাই তাহাদের

চিত্র 20.2. গুয়ানিলিক অ্যাসিডের অপচিতির ফলে ইউরিক অ্যাসিডের উৎপাদন।

ক্ষেত্রে পিউরিন বিপাকের পরিণাম । উভচর, মিষ্ট জলের ঝিনুক এবং অধিকাংশ মাছের দেহে অ্যালান্টইকেজের ক্রিয়ায় অ্যালান্টইক অ্যাসিডের জলবিশ্লেষ ঘটিয়া গ্লাইঅক্সিলিক অ্যাসিড ও ইউরিয়া উৎপন্ন হয় । আবার লবণাক্ত জলের ঝিনুক, সামুদ্রিক কীট ও কবচী প্রাণীর (Crustacea) দেহে ইউরিয়েজের ক্রিয়ায় ইউরিয়া ভাঙ্গিয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড ও অ্যামোনিয়া রূপে বাহির হইয়া যায় ।

স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্ক মানবদেহে দিনে প্রায় 300-700 মিলিগ্রাম ইউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। রক্ত ও রক্তরসের প্রতি 100 মিলিলিটারে যথাক্রমে প্রায় 1-3 ও 3-6 মিলিগ্রাম ইউরিক অ্যাসিড থাকে। গেঁটে বাত, বৃক্কের



চিত্র 20.3. মানবেতর প্রাণীর দেহে ইউরিক অ্যাসিডের ভাঙ্গন।

কর্মহানি, লিউকিমিয়া, রক্তকণিকাধিক্য (polycythemia) প্রভৃতি রোগে রক্তে ইউরিক অ্যাসিড অস্বাভাবিক বাড়িতে পারে। দিনে প্রায় 300-700 মিলিগ্রাম ইউরিক অ্যাসিড মূত্রে এবং 10 মিলিগ্রামেরও কম পিত্তে বাহির হয়।

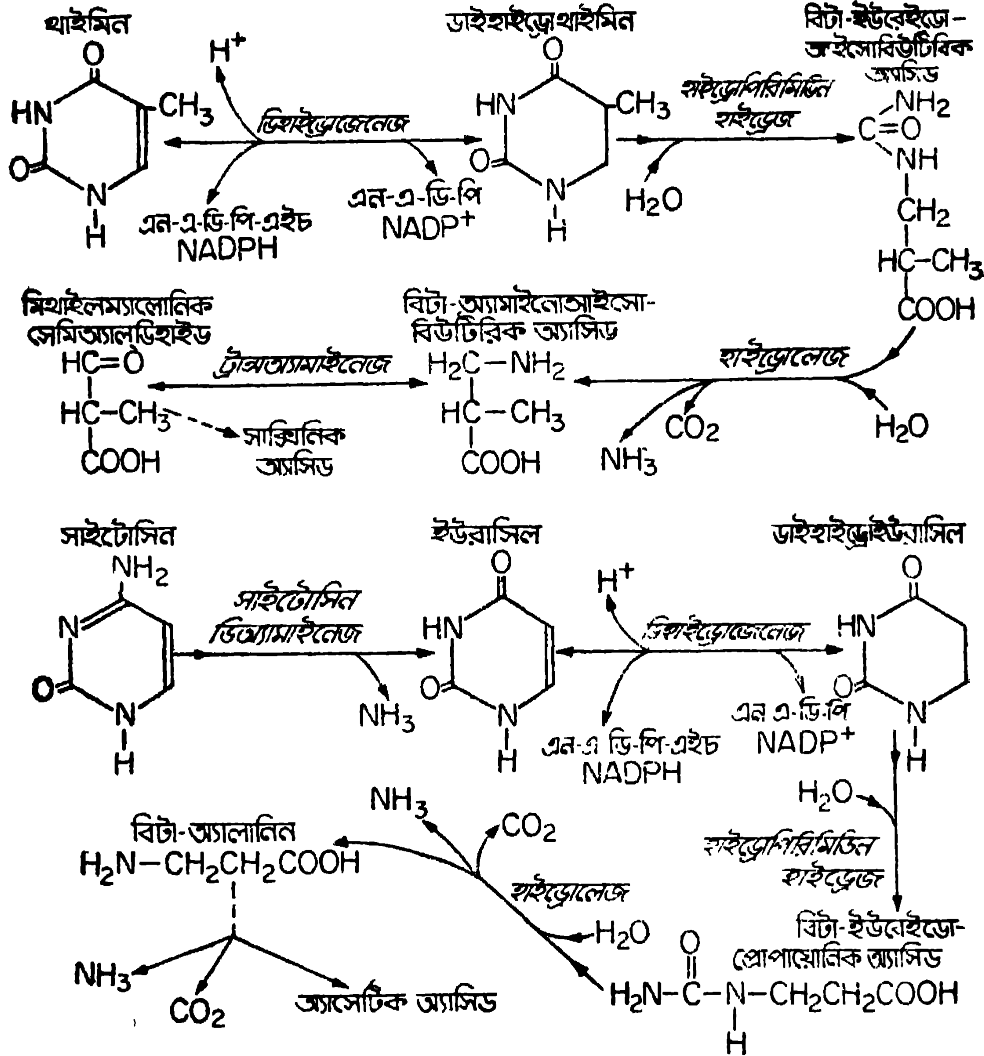
20.2 পিরিমিডিনের অপচিতি (pyrimidine catabolism)

যকৃতে থাইমিন, ইউরাসিল ও সাইটোসিন, এই তিনটি পিরিমিডিনের বিপাকের ফলে উহাদের নাইট্রোজেন অংশ অ্যামোনিয়া ও ইউরিয়ায় পরিণত হয় এবং অবশিষ্টাংশ কার্বন ডাই-অক্সাইড, মিথাইলম্যালোনিক সেমিঅ্যাল্ডিহাইড, বিটা-অ্যালানিন প্রভৃতি বিভিন্ন বস্তুতে রূপান্তরিত হয়।

যকৃতে এন-এ-ডি-পি-এইচ ও ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় থাইমিন বিজারিত হইয়া ডাইহাইড্রোথাইমিনে পরিণত হয় (চিত্র 20.4)। হাইড্রো-পিরিমিডিন হাইড্রেজের প্রভাবে শেষোক্ত বস্তুটির সহিত জলের বিক্রিয়া ঘটিয়া বিটা-ইউরেইডোআইসোবিউটিরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। হাইড্রোলেজের প্রভাবে বিটা-ইউরেইডোআইসোবিউটিরেটের সহিত জলের বিক্রিয়া ঘটিয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড, অ্যামোনিয়া এবং বিটা-অ্যামাইনোআইসোবিউটিরিক অ্যাসিড সৃষ্ট হয়। শেষোক্ত বস্তুটি অপরিবর্তিত আকারে মূত্রে বাহির হইতে পারে, আবার বৃক্ক ও যকৃতে ট্রান্সঅ্যামিনেশনের দ্বারা মিথাইলম্যালোনিক সেমিঅ্যাল্ডিহাইডে এবং তাহা হইতে পরিণামে সাক্সিনিক অ্যাসিডে পরিণত হইতে পারে।

সাইটোসিন ডিঅ্যামাইনেজের ক্রিয়ায় সাইটোসিন হইতে অ্যামোনিয়া মুক্ত হইয়া গেলে ইউরাসিল উৎপন্ন হয়। ইউরাসিল এন-এ-ডি-পি-এইচ ও

ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় বিজারিত হইলে ডাইহাইড্রোইউরাসিলের উৎপত্তি ঘটে। শেষোক্ত বস্তুটি হাইড্রোপিরিমিডিন হাইড্রেজের প্রভাবে জলযুক্ত হইয়া বিটা-ইউরেইডোপ্রোপায়োনিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। হাইড্রোলেজের সাহায্যে বিটা-ইউরেইডোপ্রোপায়োনেট ও জলের বিক্রিয়ার ফলে কার্বন ডাই-অক্সাইড, অ্যামোনিয়া ও বিটা-অ্যালানিনের উৎপত্তি ঘটে।



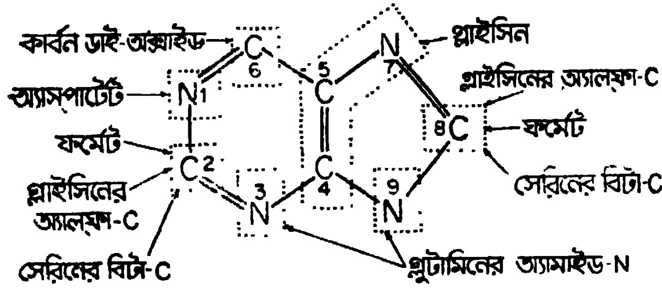
চিত্র 20.4. পিরিমিডিনের অপচিতি।

পিরিমিডিন বিপাকের ফলে উৎপন্ন অ্যামোনিয়ার অধিকাংশ যকৃতে ইউরিয়ায় পরিণত হয়।

20.3 পিউরিন নিউক্লিওটাইড সংশ্লেষণ

প্রধানতঃ যকৃতে এবং অপেক্ষাকৃত অল্প পরিমাণে বিভিন্ন যকৃতেতর

(extrahepatic) কলায় অ্যামাইনো অ্যাসিড, কার্বন ডাই-অক্সাইড প্রভৃতি বস্তু হইতে পিউরিন বলয় সংশ্লেষিত হয়। পাখি ও স্তন্যপায়ী প্রাণীকে আইসোটোপযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড, বাইকার্বনেট প্রভৃতি সেবন করাইলে অচিরে তাহাদের দেহে পিউরিন বলয়ে ঐসকল আইসোটোপ দেখা দেয় ; এভাবে পিউরিন বলয়ের কার্বন ও নাইট্রোজেনের উৎসগুলি প্রমাণিত হইয়াছে (চিত্র 20.5)।



চিত্র 20.5. পিউরিন বলয়ের বিভিন্ন পরমাণুর উৎস।

রাইবোনিউক্লিওসাইড মোনোফসফেট সংশ্লেষণ : প্রথমে যে পিউরিন নিউক্লিওটাইডগুলি সরাসরি সংশ্লেষিত হয়, তাহারা রাইবোনিউক্লিওসাইড মোনোফসফেট, যথা—অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিড (এ-এম-পি) ও গুয়ানিলিক অ্যাসিড (জিএম্পি)। সংশ্লেষণের পদগুলি মোটামুটি নিম্নরূপ।

(*a*) পি-আর-পি-পি সিন্থেটেজের ক্রিয়ায় এটিপি হইতে পাইরোফসফেট বর্গ লাভ করিয়া রাইবোজ-5-ফসফেট 5-ফসফোরাইবোসিল-1-পাইরোফসফেটে (পি-আর-পি-পি, PRPP) পরিণত হয় (চিত্র 20.6)। এই পদে ব্যবহৃত রাইবোজ-5-ফসফেট পেন্টোজ ফসফেট পথে উৎপন্ন হয় (চিত্র 17.12)।

(*b*) গ্লুটামিন পি-আর-পি-পি অ্যামাইডোট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামিনের অ্যামাইড বর্গটি আসিয়া পি-আর-পি-পি অণুর রাইবোজ অংশের প্রথম কার্বনে (C^1) যুক্ত হইলে 5-ফসফোরাইবোসিল-1-অ্যামাইনের উৎপত্তি ঘটে।

(*c*) এটিপি, ম্যাগনেসিয়াম আয়ন ও গ্লাইসিনঅ্যামাইড কাইনোসিন্থেটেজের প্রভাবে 5-ফসফোরাইবোসিল-1-অ্যামাইনের অ্যামাইন বর্গে গ্লাইসিন যুক্ত হইলে গ্লাইসিনঅ্যামাইড রাইবোটাইড (জি-এ-আর, GAR) উৎপন্ন হয়।

(*d*) শেষোক্ত বস্তুটি জি-এ-আর ট্রান্সফর্মিলেজের ক্রিয়ায় এন্^{5},এন্^{10}-মেথেনিলটেট্রাহাইড্রোফোলেট হইতে C_1-বর্গ লাভ করিয়া ফর্মিলগ্লাইসিনঅ্যামাইড রাইবোটাইডে পরিণত হয়।

(*e*) অ্যামাইডোট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামিনের অ্যামাইড বর্গ ফর্মিলগ্লাইসিনঅ্যামাইড রাইবোটাইডের অণুতে স্থানান্তরিত হইলে ফর্মিলগ্লাইসিনঅ্যামিডিন রাইবোটাইডের উৎপত্তি ঘটে।

(*f*) শেষোক্ত অণুটি অ্যামাইনোইমিডাজোল রাইবোটাইড সিন্থেটেজের

ক্রিয়ায় উন্মুক্ত শৃঙ্খলাকার হইতে বলয়াকারে রূপান্তরিত হইয়া 5-অ্যামাইনো-ইমিডাজোল রাইবোটাইডে পরিণত হয়।

রাইবোজ-5-ফসফেট

পি-আর-পি-পি সিনথেটেজ

এটিপি এ-এম-পি

5-ফসফোরাইবোসিল-1-পাইরোফসফেট

গ্লুটামিন

অ্যামাইডো-ট্রান্সফেরেজ

গ্লুটামিক অ্যাসিড

অজৈব পাইরোফসফেট

PP_i

5-ফসফোরাইবোসিল-1-অ্যামাইন

গ্লাইসিন

H_2C-NH_2

COOH

গ্লাইসিনঅ্যামাইড কাইনোসিনথেটেজ

এডিপি অজৈব ফসফেট এটিপি

গ্লাইসিনঅ্যামাইড রাইবোটাইড

এন[5],এন[10]-মেথেনিলটেট্রাহাইড্রোফোলেট

জি-এ-আর ট্রান্সফর্মিলেজ

টেট্রাহাইড্রোফোলেট

ফর্মিলগ্লাইসিনঅ্যামাইড রাইবোটাইড

অ্যামাইডোট্রান্সফেরেজ

এটিপি গ্লুটামিন গ্লুটামেট

ফর্মিলগ্লাইসিনঅ্যামিডিন রাইবোটাইড

অ্যামাইনোইমিডাজোল রাইবোটাইড সিনথেটেজ

এটিপি H_2O

5-অ্যামাইনোইমিডাজোল রাইবোটাইড

Ribose-5′-(P)

কার্বক্সিলেজ, বায়োটিন CO_2

5-অ্যামাইনোইমিডাজোল-4-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড রাইবোটাইড

সাক্সিনো-এ-আই-সি-এ-আর সিনথেটেজ

H_2O

অ্যাসপার্টিক অ্যাসিড

অ্যামাইনোইমিডাজোল সাক্সিনিল কার্বক্সামাইড রাইবোটাইড

অ্যাডেনাইলোসাক্সিনেজ

ফিউমারিক অ্যাসিড

HOOC-CH

HC-COOH

অ্যামাইনোইমিডাজোল কার্বক্সামাইড রাইবোটাইড

এন[10]-ফর্মিল টেট্রাহাইড্রোফোলেট

ট্রান্সফর্মিলেজ

টেট্রাহাইড্রোফোলেট

ফর্মিলঅ্যামাইডোইমিডাজোল কার্বক্সামাইড রাইবোটাইড

আইনোসিনিক সাইক্লোহাইড্রেজ

H_2O

আইনোসিনিক অ্যাসিড

Ribose-5′-(P)

চিত্র 20.6. আইনোসিনিক অ্যাসিডের সংশ্লেষণ।

(*g*) কার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় কার্বন ডাই-অক্সাইড যুক্ত হইয়া শেষোক্ত বস্তুটির অণু 5-অ্যামাইনোইমিডাজোল 4-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড রাইবোটাইডে পরিণত হয় ;

(*h*) সাক্সিনো-এ-আই-সি-এ-আর সিন্‌থেটেজের প্রভাবে শেষোক্ত রাইবোটাইডটি অ্যাস্‌পার্টিক অ্যাসিডের সহিত মিলিয়া অ্যামাইনোইমিডাজোল সাক্সিনিল কার্বক্স্যামাইড রাইবোটাইড উৎপন্ন করে এবং উহা অচিরে অ্যাডেনাইলোসাক্সিনেজের ক্রিয়ায় বিশ্লিষ্ট হইয়া ফিউমারিক অ্যাসিড ও অ্যামাইনোইমিডাজোল কার্বক্স্যামাইড রাইবোটাইড দান করে ।

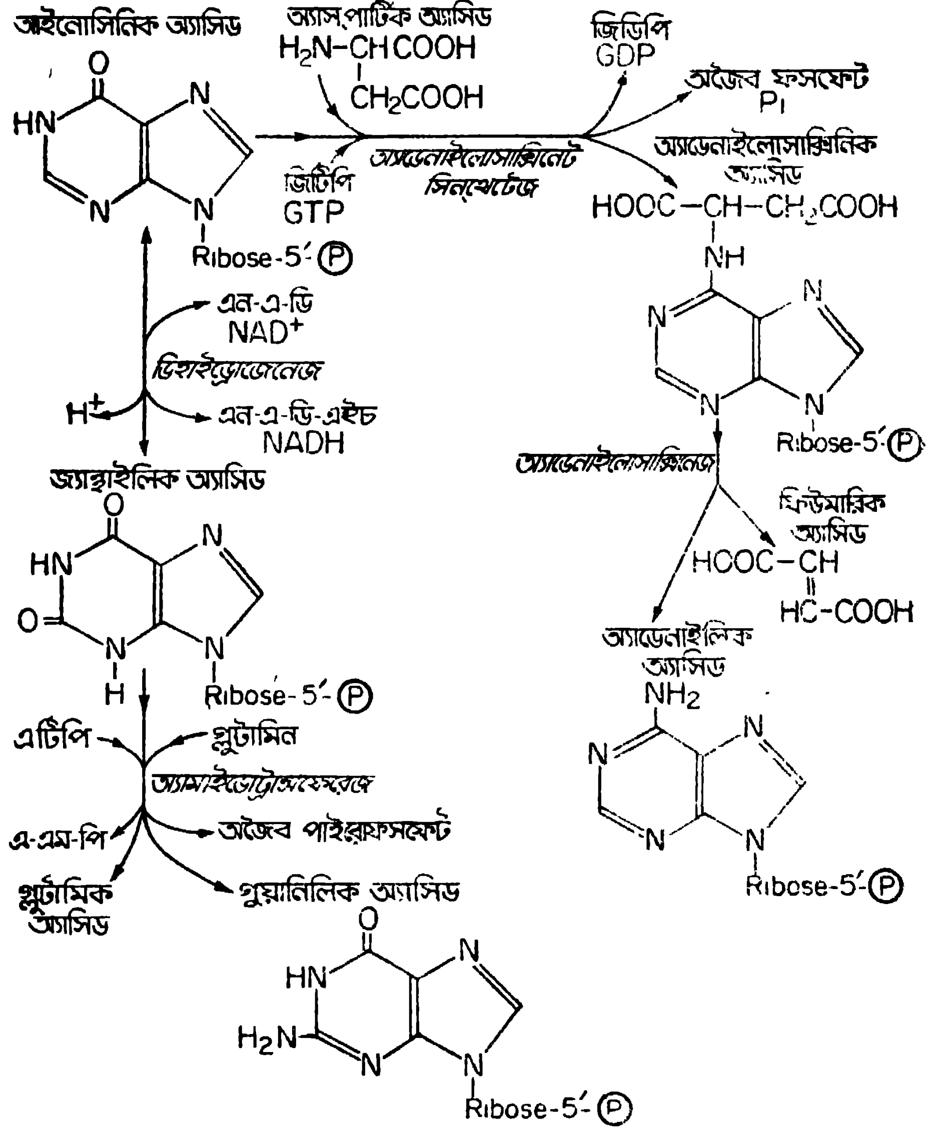
(*i*) শেষোক্ত বস্তুটি ট্রান্সফর্মিলেজের ক্রিয়ায় এন্^{10}-ফর্মিলটেট্রাহাইড্রোফোলেট হইতে ফর্মিল বর্গ লাভ করিয়া ফর্মিলঅ্যামাইডোইমিডাজোল কার্বক্স্যামাইড রাইবোটাইডে পরিণত হয় ।

(*j*) আইনোসিনিক সাইক্লোহাইড্রেজের ক্রিয়ায় শেষোক্ত রাইবোটাইড হইতে এক অণু জল মুক্ত হইয়া গিয়া আইনোসিনিক অ্যাসিডের উৎপত্তি ঘটে ।

আইনোসিনিক অ্যাসিড একাধারে এ-এম-পি বা অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিড (AMP) এবং জিএম্‌পি বা গুয়ানিলিক অ্যাসিড (GMP), উভয় পিউরিন নিউক্লিওটাইডেরই উৎস (চিত্র 20.7)। এ-এম-পি সংশ্লেষণের সময়ে অ্যাডেনাইলোসাক্সিনেট সিন্‌থেটেজের ক্রিয়ায় আইনোসিনিক অ্যাসিড ও অ্যাসপার্টিক অ্যাসিডের মিলন ঘটিয়া অ্যাডেনাইলোসাক্সিনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়—এই বিক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি উৎপাদনের জন্য এক অণু জিটিপি (GTP) ভাঙ্গিয়া জিডিপি (GDP) ও অজৈব ফসফেট উৎপন্ন করা হয় ; অতঃপর অ্যাডেনাইলোসাক্সিনেজের ক্রিয়ায় অ্যাডেনাইলোসাক্সিনিক অ্যাসিড বিশ্লিষ্ট হইয়া ফিউমারিক অ্যাসিড ও অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিড (অ্যাডেনোসিন মোনোফসফেট বা এ-এম-পি) উৎপাদন করে। জিএম্‌পি সংশ্লেষণের সময়ে এন-এ-ডি ও ডিহাইড্রোজেনেজের প্রভাবে জারিত হইয়া আইনোসিনিক অ্যাসিড জ্যান্থাইলিক অ্যাসিডে পরিবর্তিত হয় এবং তাহা অ্যামাইডোট্রান্সফেরেজের ক্রিয়ায় গ্লুটামিন হইতে উহার অ্যামাইড বর্গটি লাভ করিয়া গুয়ানিলিক অ্যাসিডে (গুয়ানোসিন মোনোফসফেট বা জিএম্‌পি) রূপান্তরিত হইয়া যায় ।

রাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেট সংশ্লেষণ : উপরি-উক্ত পদ্ধতিতে অ্যাডেনাইলিক অ্যাসিড, গুয়ানিলিক অ্যাসিড প্রভৃতি যে-সকল রাইবোনিউ-

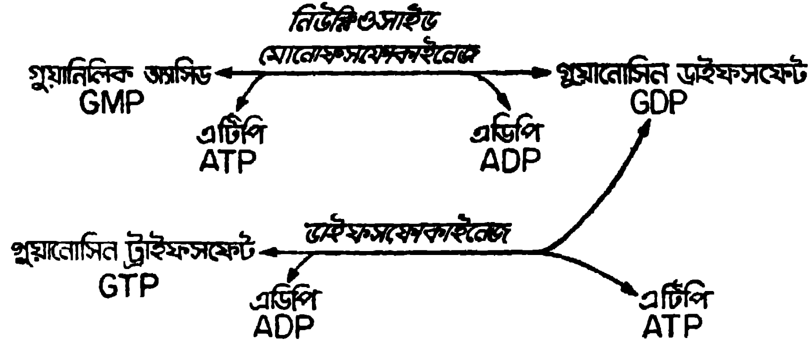
ক্লিওসাইড মোনোফসফেট সংশ্লেষিত হয়, পূর্ব হইতেই বর্তমান জিটিপি, এটিপি প্রভৃতির অণু হইতে উহাদের অণুতে ফসফেট বর্গ স্থানান্তরিত করিয়া ক্রমে রাইবোনিউক্লিওসাইড ডাইফসফেট ও রাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেট উৎপাদন করা হয়। দৃষ্টান্তস্বরূপ, নিউক্লিওসাইড মোনোফসফোকাইনেজের



চিত্র 20.7. আইনোসিনিক অ্যাসিড হইতে অ্যাডেনাইলিক ও গুয়ানিলিক অ্যাসিডের সংশ্লেষণ।

ক্রিয়ায় এটিপি হইতে একটি ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া গুয়ানিলিক অ্যাসিড (জিএম্পি) গুয়ানোসিন ডাইফসফেট (জিডিপি) উৎপাদন করে; শেষোক্ত বস্তুটি ডাইফসফোকাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি হইতে আরও একটি ফসফেট বর্গ পাইয়া গুয়ানোসিন ট্রাইফসফেট (জিটিপি) নামক রাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেটে পরিবর্তিত হয় (চিত্র 20.8)। এভাবে সংশ্লেষিত রাইবো-

নিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেটগুলি (যথা, এটিপি ও জিটিপি) আর.এন.এ. সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়। তাহা ছাড়া উহাদের অণুর উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনী-গুলিতে নিহিত শক্তির সাহায্যে দেহে বহু বিক্রিয়া ও জৈব ক্রিয়া সম্পন্ন হয়।



চিত্র 20.8. গুয়ানিলিক অ্যাসিড হইতে জিটিপি উৎপাদন।

ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেট সংশ্লেষণ : ডি.এন.এ. অণু ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেটগুলির সাহায্যে সংশ্লেষিত হয়। স্তন্যপায়ী, এস্খেরিচিয়াম কোলাই প্রভৃতির দেহে সম্ভবতঃ রাইবোনিউক্লিও-সাইড ডাইফসফেট রিডাকৃটেজ সিস্টেম নামক এনজাইম-সমষ্টির বি$_1$ ও বি$_2$ এনজাইম এবং থায়োরেডক্সিন নামক গন্ধকযুক্ত প্রোটিনের ক্রিয়ায় এডিপি, জিডিপি প্রভৃতি রাইবোনিউক্লিওসাইড ডাইফসফেটের রাইবোজ অংশ বিজারিত হইয়া ডিঅক্সিরাইবোজে পরিণত হয়, ফলে ডিঅক্সি-এডিপি (dADP), ডিঅক্সি-জিডিপি (dGDP) প্রভৃতি ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইড ডাই-ফসফেটের উৎপত্তি ঘটে—এবিষয়ে আরও বিশদ আলোচনার জন্য 20.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য। শেষোক্ত বস্তুগুলি ডাইফসফোকাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি, জিটিপি প্রভৃতি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া ডিঅক্সি-এটিপি (ডি-এটিপি, dATP) প্রভৃতি ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেটে রূপান্তরিত হয়।

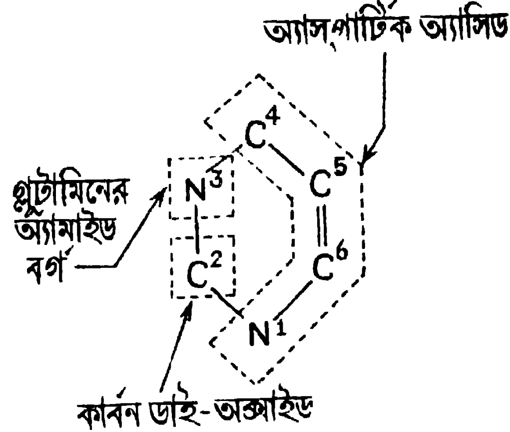
20.4 পিরিমিডিন নিউক্লিওটাইড সংশ্লেষণ

বিভিন্ন প্রাণীকে আইসোটোপ-যুক্ত অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড, গ্লুটামিন প্রভৃতি বস্তু সেবন করাইলে অচিরে তাহাদের দেহে পিরিমিডিন বলয়ে ঐসকল আইসোটোপ দেখা দেয় ; এভাবে পিরিমিডিন বলয়ের কার্বন ও নাইট্রোজেনের উৎসগুলি প্রমাণিত হইয়াছে (চিত্র 20.9)।

রাইবোনিউক্লিওসাইড মোনোফসফেট সংশ্লেষণ : প্রথমে দেহে ওরোটি-ডাইলিক অ্যাসিড নামক পিরিমিডিন নিউক্লিওটাইডের মাধ্যমে ইউরিডাইলিক

অ্যাসিড (UMP) নামক পিরিমিডিন রাইবোনিউক্লিওসাইড মোনোফসফেট সংশ্লেষিত হয়।

(*a*) সাইটোসলে কার্ব্যামিয়ল ফসফেট সিন্‌থেটেজ II নামক এনজাইমের ক্রিয়ায় গ্লুটামিনের অ্যামাইড বর্গ, কার্বন ডাই-অক্সাইড ও এটিপি-র ফসফেট বর্গের মিলনে কার্ব্যামিয়ল ফসফেটের উৎপত্তি ঘটে (চিত্র 20.10)।



চিত্র 20.9. পিরিমিডিন বলয়ের পরমাণুগুলির উৎস।

(*b*) সাইটোসলে উপরি-উক্ত এনজাইমটির সহিত ঘনিষ্ঠ-ভাবে সম্পর্কিত অ্যাস্‌পার্টেট ট্রান্সকার্ব্যামিয়লেজের ক্রিয়ায় কার্ব্যামিয়ল ফসফেটের কার্ব্যামিয়ল বর্গ অ্যাস্‌পার্টিক অ্যাসিডে স্থানান্তরিত হইলে কার্ব্যামিয়লঅ্যাস্‌পার্টিক অ্যাসিড বা ইউরেইডোসাক্সিনেটের উদ্ভব হয়।

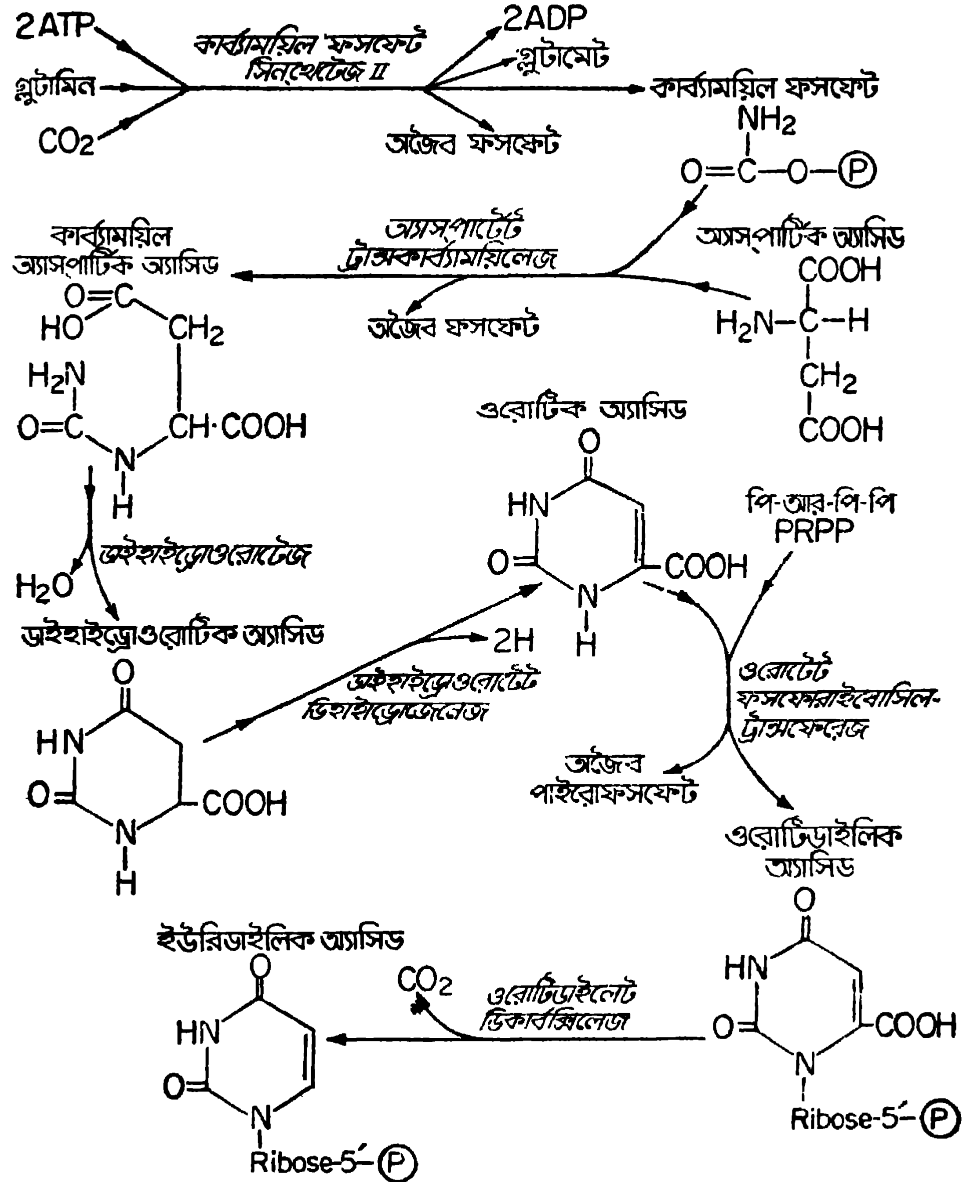
(*c*) ডাইহাইড্রোওরোটেজের ক্রিয়ায় কার্ব্যামিয়লঅ্যাস্‌পার্টেট হইতে এক অণু জল মুক্ত হইয়া গেলে উহা বলয়াকার ধারণ করিয়া ডাইহাইড্রোওরোটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

(*d*) শেষোক্ত বস্তুটি ডাইহাইড্রোওরোটেট ডিহাইড্রোজেনেজের ক্রিয়ায় জারিত হইয়া ওরোটিক অ্যাসিড উৎপাদন করে।

(*e*) অতঃপর ওরোটেট ফসফোরাইবোসিল ট্রান্সফেরেজ বা ওরোটিডাইলেট পাইরোফসফোরিলেজের প্রভাবে 5-ফসফোরাইবোসিল-1-পাইরোফসফেট (পি-আর-পি-পি, PRPP) হইতে ফসফোরাইবোসিল বর্গ আসিয়া ওরোটিক অ্যাসিডে যুক্ত হইলে ওরোটিডাইলিক অ্যাসিড নামক পিরিমিডিন নিউ-ক্লিওটাইডের উৎপত্তি ঘটে।

(*f*) সর্বশেষে ওরোটিডাইলেট ডিকার্বক্সিলেজের ক্রিয়ায় ওরোটিডাইলিক অ্যাসিডের পিরিমিডিন বলয়ে যুক্ত কার্বক্সিল বর্গটি কার্বন ডাই-অক্সাইড আকারে মুক্ত হইয়া গেলে ইউরিডাইলিক অ্যাসিড (ইউ-এম্‌-পি, UMP) নামক ইউরাসিল-ঘটিত রাইবোনিউক্লিওসাইড মোনোফসফেটের উৎপত্তি ঘটে।

রাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেট সংশ্লেষণ : আর এন.এ. অণুর সংশ্লেষণে প্রধানতঃ ইউরিডিন ট্রাইফসফেট (ইউটিপি) এবং সাইটিডিন ট্রাইফসফেট (সিটিপি) নামক পিরিমিডিন রাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাই-ফসফেটগুলি ব্যবহৃত হয়। নিউক্লিওসাইড মোনোফসফোকাইনেজের প্রভাবে

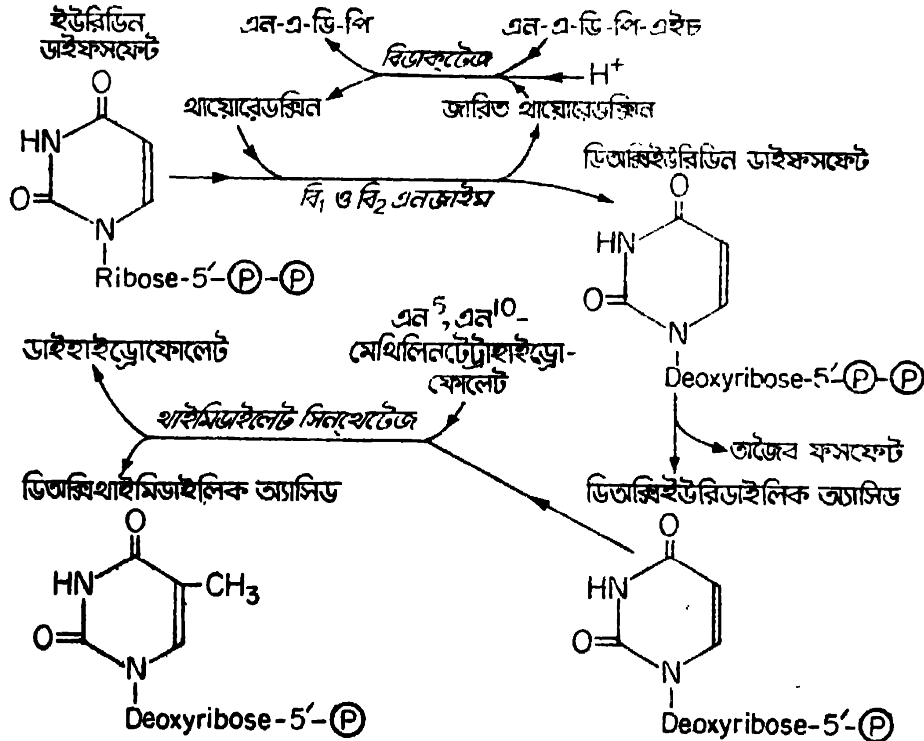


চিত্র 20.10. ইউরিডাইলিক অ্যাসিডের সংশ্লেষণ।

এটিপি হইতে একটি ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া ইউরিডাইলিক অ্যাসিড ইউরিডিন ডাইফসফেটে (UDP, ইউডিপি) পরিণত হয় এবং তাহা আবার ডাইফসফোকাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি হইতে আরও একটি ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া ইউরিডিন ট্রাইফসফেটে (UTP) পরিণত হইতে পারে। অন্যদিকে

এটিপি ও অ্যামাইডোট্রান্সফেরেজের সাহায্যে গ্লুটামিনের অ্যামাইড বর্গটি আসিয়া ইউরিডিন ট্রাইফসফেটের ইউরাসিল বর্গের চতুর্থ কার্বনে (C^4) যুক্ত হইলে সাইটিডিন ট্রাইফসফেটের উৎপত্তি ঘটে। এভাবে সংশ্লেষিত ইউটিপি ও সিটিপি আর.এন.এ. উৎপাদনে অংশগ্রহণ করে। তাহা ছাড়া তাহাদের অণুর উচ্চশক্তি ফসফেট বন্ধনীগুলির জন্যও দেহে বহু বিক্রিয়া সম্ভবপর হয়।

ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেট সংশ্লেষণ : ডি.এন.এ. অণুর সংশ্লেষণে ডিঅক্সিথাইমিডিন ট্রাইফসফেট (ডি-টিটিপি, dTTP) ও ডিঅক্সিসাইটিডিন ট্রাইফসফেট (ডি-সিটিপি, dCTP) নামক দুইটি পিরিমিডিন ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেট ব্যবহৃত হয়। পূর্ববর্তী ছত্রে বর্ণিত পদ্ধতিতে উৎপন্ন ইউডিপি অণুই ডি-টিটিপি সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। ইউডিপি অণুর রাইবোজ অংশটি সম্ভবতঃ রাইবোনিউক্লিওসাইড ডাইফসফেট রিডাক্টেজ সিস্টেমের বি$_1$ ও বি$_2$ এনজাইম এবং থায়োরেডক্সিন নামক লোহ-সাল্‌ফ্‌হাইড্রিল-প্রোটিনের ক্রিয়ায় বিজারিত হইয়া ডিঅক্সি-



চিত্র 20.11. ইউরিডিন ডাইফসফেট হইতে ডিঅক্সিইউরিডাইলিক অ্যাসিডের এবং তাহা হইতে ডিঅক্সিথাইমিডাইলিক অ্যাসিডের সংশ্লেষণ।

রাইবোজে পরিণত হয়, ফলে জারিত থায়োরেডক্সিন এবং ডিঅক্সিইউরিডিন ডাইফসফেট (dUDP) উৎপন্ন হয় (চিত্র 20.11)। শেষোক্ত বস্তুটি হইতে

একটি ফসফেট বর্গ অজৈব ফসফেট আকারে মুক্ত হইয়া গেলে ডিঅক্সিইউরিডাইলিক অ্যাসিড বা ডিঅক্সিইউরিডিন মোনোফসফেট (dUMP) উৎপন্ন হয় ; থাইমিডাইলেট সিন্‌থেটেজ এবং একটি কোব্যামাইড কোএনজাইমের ক্রিয়ায় এন^{5},এন^{10}-মেথিলিনটেট্রাহাইড্রোফোলেট হইতে C^{1}-বর্গ আসিয়া মিথাইল বর্গের আকারে ডিঅক্সিইউরিডাইলিক অ্যাসিডের ইউরাসিল বর্গের পঞ্চম কার্বনে (C^{5}) যুক্ত হইলে ডিঅক্সিথাইমিডাইলিক অ্যাসিডের (ডি-টিএম্‌পি, dTMP) উৎপত্তি ঘটে। শেষোক্ত বস্তুটি যথাক্রমে থাইমিডিন মোনোফসফোকাইনেজ ও থাইমিডিন ডাইফসফোকাইনেজের ক্রিয়ায় পরপর দুইটি এটিপি অণু হইতে একটি করিয়া ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া পরিণামে ডি-টিটিপি উৎপাদন করে।

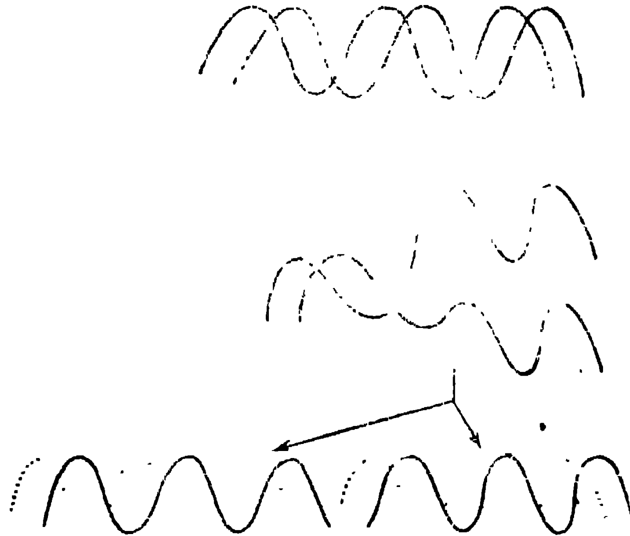
ডি-সিটিপি সংশ্লেষণের সময়ে প্রথমে সিটিপি হইতে একটি ফসফেট বর্গ অপসারিত হইয়া সিডিপি বা সাইটিডিন ডাইফসফেটের (CDP) উৎপত্তি ঘটে। শেষোক্ত বস্তুটি রাইবোনিউক্লিওসাইড ডাইফসফেট রিডাকটেজ সিস্টেমের ক্রিয়ায় বিজারিত হইলে ডি-সিডিপি (dCDP) উৎপন্ন হয়। সর্বশেষে ডাইফসফোকাইনেজের ক্রিয়ায় এটিপি বা জিটিপি হইতে একটি ফসফেট বর্গ ডি-সিডিপি অণুতে যুক্ত হইলে শেষোক্ত অণুটি ডি-সিটিপি উৎপাদন করে।

20.5 ডি.এন.এ. সংশ্লেষণ

কোষের নিউক্লিয়াসের ক্রোমজোমে ডি.এন.এ. অণুগুলি বর্তমান। এসকল ডি.এন.এ. অণু ক্রোমজোমের জীনগুলিকে (gene) গঠন করে। প্রত্যেক ডি.এন.এ. অণুতে পলিনিউক্লিওটাইডে গঠিত দুইটি দীর্ঘ ও ঋজু (linear) ফিতা (polynucleotide strands) পরস্পর ঘনিষ্ঠভাবে অথচ বিপরীতমুখী আবর্তে একটি অদৃশ্য অক্ষের চারিদিকে সর্পিলভাবে জড়াইয়া থাকে। বহু পিউরিন ও পিরিমিডিন-ঘটিত ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইড অর্থাৎ পিউরিন ও পিরিমিডিনের ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইড মোনোফসফেট অণু পরস্পর ফসফোডাইএস্টার বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত হইয়া প্রত্যেকটি সর্পিল পলিনিউক্লিওটাইড ফিতা গঠন করে (2.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। পলিনিউক্লিওটাইডের সর্পিল ফিতাদ্বয় অনেকগুলি হাইড্রোজেন বন্ধনীর (hydrogen bond) দ্বারা পরস্পর আবদ্ধ থাকে--হাইড্রোজেন বন্ধনীগুলি একটি পলিনিউক্লিওটাইড ফিতার ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইডগুলির অ্যাডেনিন, থাইমিন, সাইটোসিন ও গুয়ানিনকে অপর ফিতাটির ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইডগুলির যথাক্রমে থাইমিন, অ্যাডেনিন, গুয়ানিন ও সাইটোসিনের সহিত যুক্ত রাখে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য যে,

ডি.এন.এ. অণুতে হাইড্রোজেন বন্ধনীগুলি কেবল অ্যাডেনিন ও থাইমিনের মধ্যে অথবা গুয়ানিন ও সাইটোসিনের মধ্যেই সৃষ্ট হয় (যুগলবন্ধ বিধি, **base pairing rule**) ; এজন্যই একটি পলিনিউক্লিওটাইড ফিতার অ্যাডেনিন নিউ-ক্লিওটাইডের মুখোমুখি অপর পলিনিউক্লিওটাইড ফিতাটির একটি থাইমিন নিউক্লিওটাইড অবস্থান করে এবং একটি ফিতার গুয়ানিন নিউক্লিওটাইডের সামনে থাকে অপর ফিতাটির একটি সাইটোসিন নিউক্লিওটাইড।

কোষবিভাজনের সময়ে নিউক্লিয়াসে ডি.এন.এ. পলিমেরেজের ক্রিয়ায় এবং পুরাতন ডি.এন.এ. অণুর ছাঁচে নূতন ডি.এন.এ. অণু সংশ্লেষিত হয়। এসময়ে পুরাতন ডি.এন.এ. অণুর একপ্রান্ত হইতে শুরু করিয়া সঁপিল পলি-নিউক্লিওটাইড ফিতা-দুইটির সংযোজক হাইড্রোজেন বন্ধনীগুলি পরপর বিশ্লিষ্ট হইতে থাকায় ফিতাদ্বয় অল্প অল্প করিয়া খুলিয়া পরস্পর হইতে পৃথক হইয়া যাইতে থাকে (চিত্র 20.12)। ডি.এন.এ. পলিমেরেজের ক্রিয়ায় বিভিন্ন ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেট অণু হইতে ডিঅক্সিরাইবোনিউ-ক্লিওসাইড মোনোফসফেট অংশগুলি আসিয়া একদিকে প্রত্যেকটি ফিতার ঐরূপ খুলিয়া যাওয়া অংশের গাত্রে হাইড্রোজেন বন্ধনীর দ্বারা সংলগ্ন হইয়া পরপর সুনির্দিষ্ট ক্রমানুসারে স্থাপিত হইতে থাকে, অপরদিকে আবার এই নূতন সন্নিবেশিত নিউক্লিওটাইডগুলি ফসফোডাইএস্টার বন্ধনীর দ্বারা পরস্পর



চিত্র 20.12. ডি.এন.এ. সংশ্লেষণ। পুরাতন ডি.এন.এ. অণুর প্রত্যেক পলিনিউক্লিওটাইড ফিতার গাত্রে ক্রমশঃ একটি নূতন পলিনিউক্লিওটাইড সংশ্লেষিত হইয়া পুরাতন ডি.এন.এ. অণুটির স্থানে দুইটি নূতন ডি.এন.এ. অণুর সৃষ্টি হয়—পুরাতন ও নূতন পলিনিউক্লিওটাইড ফিতাগুলি যথাক্রমে অখণ্ড ও খণ্ডিত বক্ররেখায় অঙ্কিত হইয়াছে।

যুক্ত হইয়া গিয়া নূতন একটি পলিনিউক্লিওটাইড ফিতার উৎপত্তি ঘটাইতে থাকে। এভাবে সংযোজন ও সন্নিবেশের সময়ে নূতন সংযোজিত নিউক্লিও-টাইডগুলির থাইমিন, সাইটোসিন, অ্যাডেনিন ও গুয়ানিন পুরাতন ফিতাটির যথাক্রমে অ্যাডেনিন, গুয়ানিন, থাইমিন ও সাইটোসিন অংশের সহিত হাইড্রোজেন বন্ধনীর দ্বারা সংযুক্ত হয়, অর্থাৎ পুরাতন ফিতা ও নির্মীয়মান নূতন ফিতার গাত্রে পিউরিন ও পিরিমিডিন নিউক্লিওটাইডগুলি যুগলবন্ধ বিধিতে প্রস্তাবিত পরস্পরের পূরক (complementary) ক্রম (sequence) অনুসারে সজ্জিত হয়; ফলে পুরাতন ফিতাটির গাত্রে ক্রমশঃ তাহার প্রাক্তন সঙ্গী ফিতাটির অনুরূপ নূতন একটি পূরক ফিতার সৃষ্টি হইতে থাকে। অচিরে পুরাতন ফিতা-দুইটি শেষপ্রান্ত পর্যন্ত পরস্পর হইতে খুলিয়া গিয়া এবং প্রত্যেকের গাত্রে হাইড্রোজেন-বন্ধনীর দ্বারা সংলগ্ন একটি নবসৃষ্ট ফিতা লইয়া দুইটি পৃথক ডি.এন.এ. অণুর সৃষ্টি করে, অথচ প্রত্যেক জোড়া নূতন পলিনিউক্লিও-টাইডে পিউরিন ও পিরিমিডিন নিউক্লিওটাইডগুলির ক্রমবিন্যাস হুবহু পুরাতন জোড়াটির মতই থাকে।

20.6 আর.এন.এ. সংশ্লেষণ

কোষের নিউক্লিয়াসে আর.এন.এ. পলিমেরেজের ক্রিয়ায় এবং ডি.এন.এ. অণুর পলিনিউক্লিওটাইড ফিতার অংশবিশেষের ছাঁচে আর.এন.এ. সংশ্লেষিত হয়। আর.এন.এ. পলিমেরেজের প্রভাবে বিভিন্ন রাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেট অণু হইতে রাইবোনিউক্লিওসাইড মোনোফসফেট অংশগুলি আসিয়া ডি.এন.এ. অণুর একটি ফিতার বিশেষ এক অংশের গাত্রে হাইড্রোজেন বন্ধনীর দ্বারা সংলগ্ন হইতে থাকে—এসময়ে নবসংযোজিত রাইবোনিউক্লিও-টাইডগুলির অ্যাডেনিন, গুয়ানিন, ইউরাসিল ও সাইটোসিন ডি.এন.এ. অণুর প্রাসঙ্গিক অংশের যথাক্রমে থাইমিন, সাইটোসিন, অ্যাডেনিন ও গুয়ানিনের সহিত হাইড্রোজেন বন্ধনীর দ্বারা সংযুক্ত হয় বলিয়া নির্মীয়মান আর.এন.এ. অণুতে রাইবোনিউক্লিওটাইডগুলির ক্রমবিন্যাস ডি এন.এ. ফিতায় (DNA strand) ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইডগুলির ক্রমবিন্যাসের পূরক (complementary) বা বিপরীত হইয়া থাকে। ডি.এন.এ. ফিতার গাত্রে এভাবে সজ্জিত হইবার সময়েই রাইবোনিউক্লিওটাইডগুলি আর এন.এ. পলিমেরেজের ক্রিয়ায় ফসফোডাইএস্টার বন্ধনীর দ্বারা পরস্পর যুক্ত হইয়া আর.এন.এ. অণুটির পলিনিউক্লিওটাইড ফিতার সৃষ্টি করিতে থাকে। পরিণামে হাইড্রোজেন বন্ধনীগুলি বিশ্লিষ্ট হইয়া নূতন আর.এন.এ. ফিতাটি ডি এন.এ. ফিতার গাত্র

হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া নিউক্লিয়াসের বাহিরে পরিবাহিত হয়। আর.এন.এ. ফিতা ডি.এন.এ. অণুর মত জোড়া বাঁধিয়া থাকে না।

20.7 প্রোটিন সংশ্লেষণ

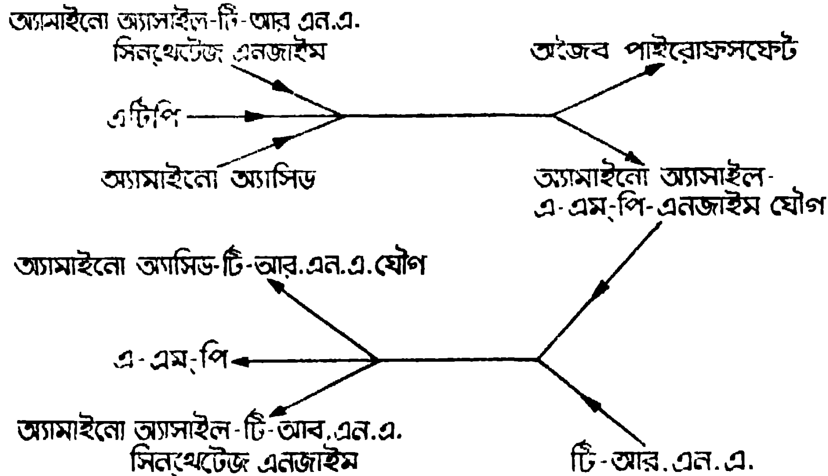
তিন প্রকার আর.এন.এ. কোষমধ্যে প্রোটিন সংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে: সাইটোপ্লাজমের তরল জলীয় অংশে বর্তমান ও অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্রাণুবিশিষ্ট ট্রান্সফার আর.এন.এ (টি-আর.এন.এ., tRNA), দানাদার এন্ডোপ্লাজমিক-রেটিকুলামে সংলগ্ন দীর্ঘাণুবিশিষ্ট তান্তব (fibrous) মেসেন্‌জার আর.এন.এ. (এম-আর এন.এ., mRNA) এবং সাইটোপ্লাজমে ও দানাদার এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলামের গাত্রে রাইবোজোম কণাগুলিতে বর্তমান রাইবোজোম্যাল আর.এন.এ. (আর-আর.এন.এ., rRNA)।

টি-আর.এন.এ. অণুর একটি বিশেষ অংশে পরপর অবস্থিত তিনটি রাইবোনিউক্লিওটাইড একত্রে **অ্যাণ্টিকোডোন** বা প্রতিসংকেতক (anticodon) রূপে কাজ করে—অ্যাণ্টিকোডোন অংশের রাইবোনিউক্লিওটাইড তিনটির পিউরিন ও পিরিমিডিন বর্গের প্রকৃতি ও ক্রম (sequence) অনুসারে টি-আর.এন.এ. অণুটি একটি বিশেষ অ্যামাইনো অ্যাসিডের সহিত মিলিয়া অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ. যৌগ উৎপাদন করে এবং ঐ আকারেই অ্যামাইনো অ্যাসিডটিকে এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলামের গাত্রে এম-আর.এন.এ. অণুর নিকটে লইয়া যায়। বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডের জন্য ভিন্ন ভিন্ন ধরনের টি-আর.এন.এ. বর্তমান। সাইটোপ্লাজমে পৃথক পৃথক অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ. সিন্‌থেটেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ভিন্ন ভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডের সহিত তাহাদের জন্য নির্দিষ্ট টি-আর.এন.এ. অণুগুলির মিলন ঘটিয়া অ্যামাইনো অ্যাসিড-টি-আর.এন.এ. যৌগগুলির উৎপত্তি হয় (চিত্র 20.13)। এজন্য প্রথমে এটিপি. উক্ত সিন্‌থেটেজ এনজাইম এবং বিশেষ একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়া অজৈব পাইরোফসফেট এবং অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-এ-এম-পি-এন্‌জাইম যৌগ উৎপন্ন হয়; অচিরে শেষোক্ত যৌগের সহিত নির্দিষ্ট ধরনের একটি টি-আর.এন.এ. অণুর বিক্রিয়া ঘটিয়া এ-এম-পি (AMP) মুক্ত হইয়া যায় এবং অ্যামাইনো অ্যাসিড-টি-আর.এন.এ. যৌগের (অ্যামাইনো-অ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ.) উৎপত্তি ঘটে।

দানাদার এন্‌ডোপ্লাজমিক রেটিকুলামের নলগুলির পৃষ্ঠে অবস্থিত এম-আর.এন.এ. তন্তুর গাত্রে একাধিক রাইবোজোম কণা যুগপৎ পুঁতির মালার মত সংলগ্ন থাকে এবং ক্রমশঃ এম-আর.এন.এ. অণুর গাত্র বাহিয়া উহার একপ্রান্ত

হইতে অন্য প্রান্তের দিকে গিয়া পরিণামে একে একে উক্ত অণু হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া সাইটোপ্লাজমে পুনঃপ্রবেশ করে। প্রতিটি রাইবোজোম এভাবে এম-আর.এন.এ. অণু বাহিয়া চলিবার সময়ে একটি পেপ্‌টাইড অণুর সংশ্লেষণ সুসম্পন্ন হয়। এম-আর.এন.এ. ও রাইবোজোম কণার এরূপ সমাহারকে পলিজোম (polysome) বলে।

এম-আর.এন.এ. অণুর সংশ্লেষণকালেই তাহার গাত্রে রাইবোনিউক্লিওটাইডগুলির ক্রমবিন্যাস জীনের ডি.এন.এ. অণুর ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওটাইডগুলির ক্রমবিন্যাসের দ্বারা নির্ধারিত হয় (20.6 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। পক্ষান্তরে, পেপ্‌টাইড সংশ্লেষণে এম-আর.এন.এ. অণুর যে অংশটির প্রত্যক্ষ ভূমিকা আছে, তাহার গাত্রে তিনটি করিয়া রাইবোনিউক্লিওটাইড একত্রে কোডোন বা



চিত্র 20.13. অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ. সিনথেটেজের ক্রিয়া।

সংকেতক (codon) রূপে কাজ করিয়া পেপ্‌টাইড অণুতে বিশেষ একটি অ্যামাইনো অ্যাসিড যুক্ত করিতে সাহায্য করে—এরূপ ট্রাইনিউক্লিওটাইডে গঠিত বহু কোডোন পরপর ছেদহীনভাবে এম-আর.এন.এ. অণুর প্রাসঙ্গিক অংশটিতে সজ্জিত থাকে এবং তাহাদের প্রত্যেকটির তিনটি পিউরিন ও পিরিমিডিন বর্গের প্রকৃতি ও ক্রম (sequence) অনুযায়ী বিশেষ একটি অ্যামাইনো অ্যাসিড পেপ্‌টাইডে সন্নিবেশিত হয়। অতএব কোডোনগুলির ক্রম অনুসারেই সংশ্লেষিত পেপ্‌টাইডে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির ক্রম নির্ধারিত হয়। এভাবে কোডোনগুলির ক্রমের উপরে নির্ভর করিয়া পেপ্‌টাইডে অ্যামাইনো অ্যাসিডের ক্রম নির্দেশের যে বার্তা এম-আর.এন.এ. অণুর গঠনে নিহিত থাকে, তাহাকে বংশগতীয় সংকেত বা জেনেটিক কোড (genetic code) বলা হয়। ভিন্ন

ভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডের জন্য এম-আর.এন.এ. অণুতে ভিন্ন ভিন্ন কোডোন থাকে। কোনও কোডোনের তিনটি পিউরিন ও পিরিমিডিন বর্গের বিপরীত বা পূরক (complementary) ধর্মীয় তিনটি পিরিমিডিন ও পিউরিন যে টি-আর.এন.এ. অণুর অ্যাণ্টিকোডোনে বর্তমান, উক্ত কোডোনের সহিত সেই টি-আর.এন.এ. অণুর অ্যাণ্টিকোডোনটি হাইড্রোজেন বন্ধনীর দ্বারা সংলগ্ন হইতে পারে। অতএব এম-আর.এন.এ. অণুতে কোডোনগুলির ক্রম অনুসারে পৃথক পৃথক অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ. অণু নির্দিষ্ট পরম্পরায় এম-আর.এন.এ. অণুর গাত্রে আসিয়া সংলগ্ন হয়—অবশ্য কোনও অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-টি-আর.এন এ. উহার জন্য নির্দিষ্ট কোডোনটিতে সংলগ্ন হওয়ার সময়ে ঐ কোডোনটির উপরে একটি রাইবাজোম কণার সঠিকভাবে অবস্থিতির প্রয়োজন।

একটি রাইবোজোম কণা এম-আর এন.এ. বাহিয়া আগাইয়া যাইবার সময়ে উহা যখন যে কোডোনটির উপরে থাকে, তাহারই পূরক অ্যাণ্টিকোডোন-বিশিষ্ট একটি অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ. অণু আসিয়া সেসময়ে উক্ত কোডোনটিতে হাইড্রোজেন বন্ধনীর দ্বারা সংলগ্ন হয়। পরমুহূর্তে রাই-বোজোমটি এম-আর.এন এ. গাত্রের পরবর্তী কোডোনের উপরে আগাইয়া গেলে অন্য একটি অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ. আসিয়া শেষোক্ত কোডোনে সংলগ্ন হয় এবং পূর্ববর্তী কোডোন-সংলগ্ন অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ. হইতে উহার অ্যামাইনো অ্যাসিডটি আসিয়া দ্বিতীয় কোডোন-সংলগ্ন যৌগটির অ্যামাইনো অ্যাসিডের গাত্রে পেপ্‌টাইড বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত হয়। ইহার ফলে দ্বিতীয় কোডোনটির গাত্রে একটি পেপ্‌টাইডিল-টি-আর.এন.এ. সৃষ্ট হয় এবং পরিত্যক্ত টি-আর.এন এ. অণুটি প্রথম কোডোনটি হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া সাইটোপ্লাজমে পুনঃপ্রবেশ করে (চিত্র 20.14)। পরমুহূর্তে রাইবোজোমটি আরও এক পদ আগাইয়া পরবর্তী কোডোনটির উপরে দাঁড়ায় এবং নূতন একটি অ্যামাইনোঅ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ. শেষোক্ত কোডোনে সংলগ্ন হয়। এবার পূর্ববর্তী কোডোন-সংলগ্ন পেপ্‌টাইডিল-টি-আর.এন.এ. হইতে পেপ্‌টাইড অংশটি আসিয়া নবাগত অ্যামাইনো-অ্যাসাইল-টি-আর.এন.এ যৌগের অ্যামাইনো অ্যাসিডের গাত্রে পেপ্‌টাইড বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত হয় ; ফলে তৃতীয় কোডোনটির গাত্রে দীর্ঘতর পেপ্‌টাইডিল-টি-আর.এন.এ. সৃষ্ট হয় এবং পূর্বের পরিত্যক্ত টি-আর এন.এ. মুক্ত হইয়া সাইটোপ্লাজমে প্রবেশ করে। এই পদগুলির বারবার পুনরাবৃত্তির মাধ্যমে ক্রমশঃ একটি দীর্ঘ পেপ্‌টাইড অণু পেপ্‌টাইডিল-টি-আর.এন.এ. আকারে

এম-আর.এন.এ.-রাইবোজোম যোগের গাত্রে সৃষ্ট হইতে থাকে। যেহেতু প্রত্যেক টি-আর.এন এ এইভাবে এক-একটি বিশেষ অ্যামাইনো অ্যাসিডকে বহিয়া আনিয়া এক-একটি নির্দিষ্ট কোডোনে সংলগ্ন হয়, অতএব এম-আর এন.এ. অণুর কোডোনগুলির ক্রম অনুসারেই পেপ্‌টাইড অণুতে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির ক্রম নির্ধারিত হইয়া যায়। রাইবোজোম কণাটি এম-আর এন.এ. অণুর শেষ কোডোনটিতে পৌঁছিলে অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংযোজন সমাপ্ত হইয়া পেপ্‌টাইডটি এবং সর্বশেষ টি-আর.এন.এ. অণুটি মুক্ত হইয়া সাইটো-প্লাজমে প্রবেশ করে এবং রাইবোজোমটিও এম-আর এন.এ. হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া যায়। বলা বাহুল্য যে, এভাবে পেপ্‌টাইড সংশ্লেষণের প্রতি পদে একাধিক এনজাইম ও সহায়ক বস্তুর ক্রিয়ার প্রয়োজন হয়।

উপরি-উক্ত আলোচনা হইতে বোঝা যায় যে, এম-আর.এন এ. অণুর সংশ্লেষণের সময়ে তাহার কোডোনগুলিতে রাইবোনিউক্লিওটাইড-গুলির ক্রম নির্দিষ্ট করিয়া দিয়া জীনের ডি.এন.এ. অণুই পরিণামে বিভিন্ন প্রোটিনের অণুতে অ্যামাইনো অ্যাসিডের ক্রম নির্দিষ্ট করিয়া দেয়। এভাবেই ডি.এন.এ. দেহের সকল প্রোটিনের গঠন ও গুণাবলীর নিয়ামকরূপে কাজ করে এবং দেহীর সকল প্রকৃতি, গুণ ও ক্রিয়াকলাপকে বংশগতির ধারায় প্রবাহিত করিতে সাহায্য করে।

একবিংশ পরিচ্ছেদ

খাদ্য ও পুষ্টি

প্রাণিদেহে কলাগুলির অবিরাম ক্ষয় হয়, শক্তি উৎপাদন ও অন্যান্য কার্যে বহু সঞ্চিত বস্তু ব্যয় হইয়া যায়, ক্ষরিত রসেও অনেক বস্তু বাহির হইয়া যায়। এসকলের অভাব পূরণের জন্য নিয়মিত আহারের প্রয়োজন। বৃদ্ধি, গর্ভধারণ, দুগ্ধক্ষরণ, বার্ধক্য এবং রোগনিরাময়ের সময়ে খাদ্যে বিভিন্ন উপাদানের প্রয়োজনীয়তা বাড়ে।

21.1 খাদ্যের ক্যালরিমূল্য

খাদ্যে নিহিত শক্তি তাপের আকারে মাপিয়া খাদ্যের ক্যালরিমূল্য (caloric value) অর্থাৎ তাহার দহনজাত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় করা হয়। নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের মধ্যে রক্ষিত **বম্ব ক্যালরিমিটার** নামক অবরুদ্ধ ধাতব পাত্রে উপযুক্ত পরিমাণে অক্সিজেন ও নির্দিষ্ট পরিমাণে খাদ্যবস্তু রাখিয়া এবং খাদ্যবস্তুতে নিমজ্জিত প্ল্যাটিনাম-তার দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইয়া খাদ্যকে সম্পূর্ণ দগ্ধ করিয়া ফেলা হয়। দহনজাত তাপের প্রভাবে জলের উষ্ণতার বৃদ্ধি মাপিয়া উক্ত খাদ্যের ক্যালরিমূল্য হিসাব করা হয়। এভাবে দহনজাত শক্তিকে সরাসরি তাপের আকারে মাপিবার পদ্ধতিকে **প্রত্যক্ষ ক্যালরিমিতি** (direct calorimetry) বলে।

খাদ্যের ক্যালরিমূল্য সাধারণতঃ কিলোক্যালরি (kcal) নামক তাপীয় এককে অথবা মেগাজুল (megajoule or MJ) নামক শক্তির এককে প্রকাশ করা হয়। 1 কিলোক্যালরি বলিতে 10^3 ক্যালরি বুঝায়—1 গ্রাম জলের উষ্ণতাকে 15° হইতে 16° সেলসিয়সে তুলিবার উপযোগী তাপকে 1 ক্যালরি বলে। 1 মেগাজুল বলিতে 10^6 জুল (J) বুঝায়—1 নিউটন বলের দ্বারা 1 কিলোগ্রাম ভরকে (mass) 1 মিটার চালিত করিতে যে শক্তি ব্যয় হয় তাহাকেই 1 জুল শক্তি বলে। 1 গ্রাম কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট বা প্রোটিনকে বম্ব ক্যালরিমিটারে নিঃশেষে দগ্ধ করিলে যথাক্রমে 4.1, 9.45 ও 5.65 কিলোক্যালরি উৎপন্ন হয়; এগুলিই ঐসকল খাদ্যের প্রকৃত ক্যালরিমূল্য। কিন্তু আহার্যে গৃহীত খাদ্যের জারণের ফলে দেহে যে শক্তি উৎপন্ন হয়, তাহার পরিমাণ বম্ব ক্যালরিমিটারে নিঃশেষে দহনের ফলে উৎপন্ন শক্তির তুলনায় কম। ইহার দুইটি প্রধান কারণ :

(*a*) সকল খাদ্যেরই অল্প কিছু অংশ অশোষিত থাকিয়া গিয়া মলে বাহির হইয়া যায়—সাধারণতঃ ভুক্ত খাদ্যের মোট কার্বোহাইড্রেটের প্রায় 98%, মোট ফ্যাটের প্রায় 95% এবং মোট প্রোটিনের প্রায় 92% শোষিত হইয়া দেহে শক্তি উৎপাদন করিতে পারে। প্রত্যেক খাদ্যবস্তুর এই শোষিত অংশকে তাহার **পাচনাঙ্ক** (digestibility coefficient) বলে।

$$\text{পাচনাঙ্ক} = \frac{100\ (\text{আহার্যে গৃহীত খাদ্যবস্তু} - \text{মলে নির্গত অশোষিত খাদ্যবস্তু})}{\text{আহার্যে গৃহীত খাদ্যবস্তু}}$$

(*b*) শোষিত কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাটের প্রায় সবটুকুই দেহে নিঃশেষে জারিত হইয়া শক্তি উৎপাদন করিতে পারে, কিন্তু শোষিত প্রোটিনের মাত্র একাংশ দেহে নিঃশেষে জারিত হইয়া শক্তি উৎপন্ন করে এবং উহার অবশিষ্টাংশ সম্পূর্ণ দহনের পরিবর্তে ইউরিয়া, অ্যামোনিয়া, ইউরিক অ্যাসিড প্রভৃতি নাইট্রোজেন-ঘটিত বর্জ্য দ্রব্যে (nitrogenous waste products) পরিণত হইয়া মূত্রে বাহির হইয়া যায়। প্রতি গ্রাম প্রোটিন হইতে এভাবে যে নাইট্রোজেন-ঘটিত বর্জ্য দ্রব্যগুলি উৎপন্ন হইয়া দহনের পরিবর্তে রেচিত হয়, বম্ব ক্যালরিমিটারে তাহাদের ক্যালরিমূল্য গড়ে প্রায় 1.25 কিলোক্যালরি। সুতরাং প্রতি গ্রাম শোষিত প্রোটিনের বিপাকের ফলে 5 65 কিলোক্যালরির পরিবর্তে সর্বাধিক $5.65-1.25 = 4.40$ কিলোক্যালরি উৎপন্ন হইতে পারে।

উপরি-উক্ত কারণদ্বয়ের পরিপ্রেক্ষিতে হিসাব করিলে খাদ্যে গৃহীত প্রতি গ্রাম কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট বা প্রোটিনের বিপাকের ফলে উৎপন্ন শক্তির পরিমাণ দাঁড়ায় যথাক্রমে প্রায় 4, 9 এবং 4 কিলোক্যালরি : এগুলিই বিভিন্ন শ্রেণীর খাদ্যের **শারীর ইন্ধনমান** (physiological fuel value) নামে পরিচিত এবং ভুক্ত খাদ্যবস্তুর ক্যালরিমূল্য নির্ধারণে এগুলিই ব্যবহৃত হয়।

প্রতি 100 গ্রাম খাদ্যে যত কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট ও প্রোটিন আছে, তাহাদের পরিমাণকে নিজ নিজ শারীর ইন্ধনমান দিয়া গুণ করিয়া গুণফলগুলিকে যোগ করিলে উক্ত খাদ্যের ক্যালরিমূল্য পাওয়া যায়। দৃষ্টান্তস্বরূপ, 100 গ্রাম সিদ্ধ চালে 78.9 গ্রাম কার্বোহাইড্রেট, 6.5 গ্রাম প্রোটিন এবং 0.4 গ্রাম ফ্যাট আছে ; সুতরাং 100 গ্রাম সিদ্ধ চালের ক্যালরিমূল্য $= 78.9\times4+ 6.5\times4 + 0.4\times9 \simeq 345$ কিলোক্যালরি।

21.2 শ্বাসানুপাত (respiratory quotient or RQ)

নির্দিষ্ট সময়ে কোনও ব্যক্তি যে পরিমাণ কার্বন ডাই-অক্সাইড উৎপাদন করিয়া নিঃশ্বাসবায়ুতে বাহির করিয়া দেয় এবং যে পরিমাণ অক্সিজেনকে

প্রশ্বাসবায়ু হইতে সংগ্রহ করিয়া দেহে ব্যবহার করে, ঐ দুই গ্যাসের সেই পরিমাণদ্বয়ের অনুপাতকে শ্বাসানুপাত বা আর.কিউ. (RQ) বলে।

$$\text{আর.কিউ.} = \frac{\text{নিঃসৃত কার্বন ডাই-অক্সাইডের আয়তন}}{\text{গৃহীত অক্সিজেনের আয়তন}}$$

শ্বাসানুপাতের আর এক সংজ্ঞা হইল, ইহা দেহে উৎপন্ন কার্বন ডাই-অক্সাইড এবং সমকালে দেহে গৃহীত অক্সিজেনের মোলার অনুপাত। দেহে শক্তি উৎপাদনের কার্যে কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট প্রভৃতি খাদ্যবস্তু কিরূপ অনুপাতে জারিত ও বিপাচিত (metabolized) হইতেছে, তাহা শ্বাসানুপাত বা আর.কিউ. নির্ণয়ের মাধ্যমে অনুমান করা যায়। দেহে কেবল কার্বোহাইড্রেট জারিত হইতে থাকিলে ঐ জারণে ব্যবহৃত অক্সিজেন অণুর সংখ্যা ঐ জারণের ফলে উৎপন্ন কার্বন ডাই-অক্সাইড অণুর সংখ্যা হইতে অভিন্ন; যথা, গ্লুকোজের জারণের সময়ে, $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$; অর্থাৎ কেবল কার্বোহাইড্রেট জারণের সময়ে নিঃসৃত কার্বন ডাই-অক্সাইড ও ব্যবহৃত অক্সিজেনের আয়তন অভিন্ন, সুতরাং আর.কিউ. বা শ্বাসানুপাত 6 : 6 অর্থাৎ 1.00। কিন্তু ফ্যাটি অ্যাসিডে অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা কার্বোহাইড্রেটের তুলনায় অনেক কম, ফলে তাহার জারণের সময়ে ব্যবহৃত অক্সিজেনের পরিমাণ জারণের ফলে উৎপন্ন কার্বন ডাই-অক্সাইডের পরিমাণ অপেক্ষা অনেক বেশি; যথা, স্টিয়ারিক অ্যাসিডের জারণের সময়ে, $C_{17}H_{35}COOH + 26O_2 = 18CO_2 + 18H_2O$, সুতরাং আর.কিউ. = 18 : 26 = 0.7। অতএব দেহে কেবল ফ্যাটের জারণ ঘটিতে থাকিলে আর.কিউ. বা শ্বাসানুপাত প্রায় 0.7 হইয়া যায়। পক্ষান্তরে কেবল প্রোটিনের জারণ ঘটিতে থাকিলে শ্বাসানুপাত বা আর.কিউ. প্রায় 0.8-এর কাছাকাছি হয়; যথা, অ্যালানিনের জারণের সময়ে, $2C_3H_7NO_2 + 6O_2 = 5CO_2 + 5H_2O + CO(NH_2)_2$, সুতরাং আর.কিউ. = 5 : 6 = 0.83। দেহে কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাটের মিশ্রণ জারিত হইতে থাকিলে উক্ত মিশ্রণে তাহাদের পরিমাণের অনুপাতের উপরে নির্ভর করিয়া শ্বাসানুপাতের পরিমাণ 0.7 এবং 1.00 এই দুই সীমার মাঝামাঝি দাঁড়ায়—কার্বোহাইড্রেটের অনুপাত যত কমে, শ্বাসানুপাত ততই 0.7-এর দিকে নামিয়া আসে।

দেহে কতখানি প্রোটিন জারিত হইতেছে, তাহা প্রোটিন বিপাকের ফলে উৎপন্ন ও মলমূত্রে রেচিত ইউরিয়া, ইউরিক অ্যাসিড, অ্যামোনিয়া, ক্রিয়াটিনিন ইত্যাদি প্রোটিনেতর নাইট্রোজেনযুক্ত বর্জ্য দ্রব্যগুলির (waste products)

পরিমাণ হইতে হিসাব করা যায়। ঐসকল রেচিত বস্তুতে নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয় করিয়া তাহাকে 100/16 অর্থাৎ 6.25 দিয়া গুণ করিলে বিপাচিত প্রোটিনের পরিমাণ পাওয়া যায়, কারণ 100 গ্রাম প্রোটিনের বিপাকের ফলে দেহে গড়ে 16 গ্রাম প্রোটিনেতর নাইট্রোজেন উৎপন্ন হইয়া পূর্বোক্ত বর্জ্য দ্রব্যগুলির আকারে দেহ হইতে রেচিত হয় এবং অবশিষ্ট প্রায় 84 গ্রাম জারিত হইয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড, জল ও শক্তি উৎপাদন করে। সাধারণতঃ এইভাবে বিপাচিত প্রোটিনের পরিমাণ নির্ণয় করিয়া তাহার জারণে উদ্ভূত কার্বন ডাই-অক্সাইড ও তজ্জন্য ব্যবহৃত অক্সিজেনের পরিমাণ হিসাব করা হয় এবং সেগুলিকে যথাক্রমে মোট নিঃসৃত কার্বন ডাই-অক্সাইড ও মোট গৃহীত অক্সিজেনের পরিমাণ হইতে বাদ দিলে কেবল কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাটের জারণে উদ্ভূত কার্বন ডাই-অক্সাইড ও সেই উদ্দেশ্য ব্যবহৃত অক্সিজেনের পরিমাণ পাওয়া যায়; শেষোক্ত পরিমাণদ্বয়ের অনুপাতকে **প্রোটিনেতর শ্বাসানুপাত** (nonprotein RQ) বলে। সাধারণ মিশ্রিত খাদ্য আহার করিলে প্রোটিনেতর শ্বাসানুপাতের পরিমাণ গড়ে প্রায় 0.83 হইতে দেখা যায়।

দেহে কার্বোহাইড্রেট হইতে দ্রুত ফ্যাট সংশ্লেষণের সময়ে কার্বোহাইড্রেট অণুর অতিরিক্ত অক্সিজেন মুক্ত হইয়া গিয়া জারণের কার্যে প্রযুক্ত হয়; ফলে প্রশ্বাসবায়ু হইতে গৃহীত অক্সিজেন ঠিক সেই পরিমাণে হ্রাস পায়, কিন্তু জারণের ফলে উৎপন্ন কার্বন ডাই-অক্সাইডের পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। ঐসময়ে প্রধানতঃ কার্বোহাইড্রেট জারিত হইতে থাকিলে প্রশ্বাসবায়ু হইতে গৃহীত অক্সিজেনের তুলনায় অনেক বেশি কার্বন ডাই-অক্সাইড দেহ হইতে বাহির হইয়া যায়, ফলে শ্বাসানুপাত 1.00 অপেক্ষা বেশি হয়। পক্ষান্তরে, মধুমেহ রোগে (diabetes mellitus) কার্বোহাইড্রেটের জারণ ও কার্বোহাইড্রেট হইতে ফ্যাট সংশ্লেষণ কমিয়া যায় এবং মুখ্যতঃ ফ্যাটের জারণের দ্বারাই শক্তি উৎপাদন করিতে হয়; আবার স্বাভাবিক অবস্থাতেও আহারের পরে 12 ঘণ্টা অতিক্রান্ত হইলে প্রধানতঃ ফ্যাটই দেহে জারিত হইতে থাকে। এসকল অবস্থায় শ্বাসানুপাত প্রায় 0.7। কিন্তু স্বাভাবিক ব্যক্তির দেহে আহারের অব্যবহিত পরে গ্লুকোজের জারণের দ্বারাই প্রায় সবটুকু শক্তি উৎপন্ন হইতে থাকে এবং এই সময়ে শ্বাসানুপাত প্রায় 1.00। কঠিন শ্রমের সময়ে শ্বসনের গভীরতা ও হার বাড়িয়া বিশ্রামকালের তুলনায় অনেক বেশি পরিমাণে কার্বন ডাই-অক্সাইড নিঃশ্বাসে বাহির হয়, কিন্তু অক্সিজেন গ্রহণের পরিমাণ সেই অনুপাতে না বাড়িয়া ঐ বৃদ্ধি পরবর্তী বিশ্রামকালের জন্য স্থগিত থাকে; এজন্য এসময়ে শ্বাসানুপাত বাড়িয়া 2.00 পর্যন্ত পৌঁছিতে পারে।

যেহেতু দেহে কোনও নির্দিষ্ট প্রোটিনেতর শ্বাসানুপাতের অবস্থায় গৃহীত অক্সিজেন কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাটের এক নির্দিষ্ট অনুপাতের মিশ্রণকে জারিত করিতে ব্যবহৃত হয়, অতএব যে কোনও প্রোটিনেতর শ্বাসানুপাতের ক্ষেত্রে প্রতি লিটার অক্সিজেনের ব্যবহারে শক্তি বা কিলোক্যালরি উৎপাদনের হার সহজেই হিসাব করা যায় এবং ইহাকে উক্ত শ্বাসানুপাতের অবস্থায় প্রতি লিটার অক্সিজেনের ক্যালরিমান (calorie equivalent) বলে ; যথা, প্রোটিনেতর শ্বাসানুপাত 0.83 হইলে প্রতি লিটার অক্সিজেন ব্যবহারে প্রায় 4.838 কিলোক্যালরি উৎপন্ন হয়। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখ্য যে, সাধারণতঃ স্বাভাবিক মানবদেহে প্রোটিন হইতে উৎপন্ন কার্বন ডাই-অক্সাইড পরিমাণে এত কম যে তাহা শ্বাসানুপাতকে কার্যতঃ প্রভাবিত করে না। উল্লিখিত আলোচনা হইতে বোঝা যায় যে, শ্বাসানুপাত জানা থাকিলে নির্দিষ্ট সময়ে অক্সিজেন গ্রহণের পরিমাণ মাপিয়া তাহা হইতে ঐ সময়ে দেহে শক্তি উৎপাদনের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়।

21.3 মৌল বিপাকহার (basal metabolic rate)

যদি শ্রম, খাদ্যের পরিপাক ও শোষণ, দেহতাপ নিয়ন্ত্রণ প্রভৃতি কার্যের জন্য শক্তি ব্যয় করিতে না হয়, তবে কেবল শ্বসন, হৃৎস্পন্দন, মূত্রক্ষরণ, পৌষ্টিক নালীর পেশীগুলির ক্রমসংকোচ, মস্তিষ্ক ও যকৃতের কোষগুলির অবিরাম বিপাকক্রিয়া, সোডিয়াম পাম্পের সাহায্যে আয়ন-সাম্য রক্ষা প্রভৃতি অপরিহার্য জৈব ক্রিয়াকে অব্যাহত রাখিতে যে শক্তি উৎপন্ন ও ব্যয় হয়, তাহাকে মৌল বিপাকহার (BMR) বলে। আহারের 12 ঘণ্টা পরে অর্থাৎ শোষণোত্তর (post-absorptive) দশায় আরামদায়ক সমতাপীয় (thermoneutral) পরিবেশে (অথবা 21-25°C উষ্ণতায়) রোগীকে জাগ্রত অবস্থায় স্বচ্ছন্দে শায়িত রাখিয়া তাহার শক্তি উৎপাদনের হার নির্ণয় করিলে মৌল বিপাকহার পাওয়া যায়।

প্রত্যক্ষ ক্যালরিমিতি (direct calorimetry) পদ্ধতিতে কোনও প্রাণীর বিপাকহার নির্ণয়ের জন্য উক্ত প্রাণীকে শ্বসন ক্যালরিমিটার (respiratory calorimeter) নামক একটি অন্তরিত (insulated) কক্ষে রাখিয়া এবং নির্দিষ্ট পরিমাণে জল উক্ত কক্ষের ভিতর দিয়া সংবাহিত (circulated) করিয়া সেই জলের তাপমাত্রার বৃদ্ধি হইতে প্রাণীটির দেহনির্গত তাপের পরিমাণ হিসাব করা হয়।

অপ্রত্যক্ষ ক্যালরিমিতি (indirect calorimetry) পদ্ধতিতে নির্দিষ্ট সময়ে প্রাণীর কার্বন ডাই-অক্সাইড উৎপাদন ও অক্সিজেন গ্রহণের পরিমাণ

মাপিয়া তাহার শ্বাসানুপাত নির্ণয় করা হয় এবং ঐ শ্বাসানুপাতে প্রযোজ্য অক্সিজেনের ক্যালরিমান ব্যবহার করিয়া গৃহীত অক্সিজেনের পরিমাণ হইতে শক্তি উৎপাদনের হিসাব করা হয়। সাধারণতঃ **স্পাইরোমিটারের** সাহায্যে অপ্রত্যক্ষ ক্যালরিমিতি পদ্ধতিতে মানুষের মৌল বিপাকহার নির্ণয় করা হয়। বেনেডিক্ট্-রথ স্পাইরোমিটারে 6 মিনিটে রোগীর অক্সিজেন গ্রহণের পরিমাণ মাপা হয় : তাহার পরে রোগীর প্রোটিনেতর শ্বাসানুপাতকে (nonprotein RQ) মোটামুটি 0.83 ধরিয়া ঐ শ্বাসানুপাতে প্রযোজ্য লিটারপ্রতি অক্সিজেনের ক্যালরিমান অবলম্বন করিয়া গৃহীত অক্সিজেনের ব্যবহারে উৎপন্ন শক্তির পরিমাণ হিসাব করা হয় (21.2 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। এভাবে নির্ণীত শক্তিকে প্রতি ঘণ্টায় এবং দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফলের (body surface area) প্রতি বর্গমিটারে উৎপন্ন কিলোক্যালরি হিসাবে প্রকাশ করা হয়। ইহাই উক্ত ব্যক্তির মৌল বিপাকহার রূপে বিবেচিত হয় : যথা, 60 কিলোগ্রাম ওজনবিশিষ্ট যুবকের স্বাভাবিক মৌল বিপাকহার প্রায় 40 কিলোক্যালরি বর্গমিটার$^{-1}$ ঘণ্টা$^{-1}$, অর্থাৎ প্রতি বর্গমিটার দেহপৃষ্ঠের জন্য ঘণ্টায় 40 কিলোক্যালরি।

মৌল বিপাকহার নানা ঘটকের (factor) উপরে নির্ভর করে : **(a) হর্মোন :** অ্যাড্রেন্যালিন, থাইরক্সিন, গ্রোথ হর্মোন এবং টেস্টোস্টেরোন মৌল বিপাকহারকে বাড়াইয়া থাকে ; ইহাদের ক্ষরণ বাড়িলে বা কমিলে মৌল বিপাকহার যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়। বিশেষতঃ গ্রেভ্স্-বর্ণিত রোগে থাইরক্সিনের অতিক্ষরণ (hypersecretion) ঘটিয়া এবং ফিওক্রোমোসাইটোমা রোগে অ্যাড্রেন্যাল টিউমার হইতে অ্যাড্রেন্যালিনের অতিক্ষরণ ঘটিয়া ঐ দুই রোগে মৌল বিপাকহার অস্বাভাবিক বৃদ্ধি পায়। অন্যদিকে মিক্সিডিমা ও ক্রেটিনিজ্ম্ রোগে থাইরক্সিনের ক্ষরণ কমিয়া যাওয়ায় মৌল বিপাকহারও হ্রাস পায়। **(b) পুষ্টিমান :** দীর্ঘ অনশনে হৃৎস্পন্দন, মূত্রক্ষরণ, পেশীর টান (tone) প্রভৃতি কমিয়া যায় এবং সেজন্য শক্তি উৎপাদনও হ্রাস পায় ; থাইরয়েড হর্মোনের ক্ষরণ কমিয়া গিয়া দেহে তাহার তাপোৎপাদক (calorigenic) ক্রিয়া হ্রাস পায় ; কোষগুলি ভাঙ্গিয়া পড়িতে থাকায় দেহে কোষের সংখ্যা ও কোষের বিক্রিয়াজনিত মোট শক্তিও কমিয়া যায়। এসকল কারণে দীর্ঘ অনশনের সময়ে মৌল বিপাকহার হ্রাস পায়। ইঁদুরকে প্রোটিনবিহীন খাদ্য খাওয়াইয়া রাখিলে তাহার মৌল বিপাকহার যথেষ্ট হ্রাস পাইতে দেখা যায়। **(c) গর্ভ :** গর্ভবতী মাতার মৌল বিপাকহার স্বাভাবিক অবস্থার তুলনায় অধিক—গর্ভাবস্থায় ভ্রূণ ও মাতা উভয়ের মৌল বিপাকহারের সমষ্টিই মাতার মৌল বিপাকহার। মৌল বিপাকহারের গর্ভকালীন বৃদ্ধির প্রত্যক্ষ

কারণ মাতার নিজ জননতন্ত্রের ও জরায়ুস্থ ভ্রূণের কোষসংখ্যার বৃদ্ধি এবং উচ্চ হারে বিপাক। গর্ভধারণকালের তৃতীয় বা শেষ ত্রৈমাসিক অংশে (last trimester) মৌল বিপাকহার স্বাভাবিক অবস্থার তুলনায় প্রায় 10-12% অধিক হইতে পারে। **(d) বয়স :** জন্মের পর হইতে প্রায় 5 বৎসর মৌল বিপাকহার ক্রমশঃ বাড়িতে থাকে, পরে বয়স বাড়িবার সঙ্গে মৌল বিপাকহার কমিতে থাকে। বৃদ্ধের মৌল বিপাকহার যুবকের তুলনায় অনেক কম, আবার 5 বৎসরের বালকের মৌল বিপাকহার নবজাত শিশুর তুলনায় অনেক বেশি। সাধারণভাবে 25 হইতে 45 বৎসর পর্যন্ত বয়সে প্রতি দশ বৎসর বয়স বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে মৌল বিপাকহার গড়ে প্রায় 3% হ্রাস পায়, কিন্তু 45 হইতে 65 বৎসর বয়সের মধ্যে প্রতি দশ বৎসরে ইহার প্রায় দ্বিগুণ হারে মৌল বিপাকহার কমিতে থাকে। **(e) জলবায়ু :** উষ্ণ আবহাওয়ায় মৌল বিপাকহার কমে এবং শৈত্যের প্রভাবে উহা বৃদ্ধি পায়। ইহা অনেকাংশে তাপমাত্রার প্রভাবে থাইরক্সিন ও অ্যাড্রেন্যালিন ক্ষরণের তারতম্যের উপরে নির্ভর করে। শৈত্যের প্রভাবে অল্পকালের মধ্যেই অ্যাড্রেন্যালিনের ক্ষরণ বাড়িয়া তখনকার মত মৌল বিপাকহার বর্ধিত হয়। আবার দীর্ঘকাল শীতল পরিবেশে থাকিলে ক্রমে থাইরক্সিনের ক্ষরণ বাড়িয়া মৌল বিপাকহারের অপেক্ষাকৃত দীর্ঘস্থায়ী বৃদ্ধি ঘটে। এজন্যই একই ব্যক্তির ক্ষেত্রে উষ্ণ নিরক্ষীয় অঞ্চলে বসবাসের সময়ে মৌল বিপাকহার শীতল তুন্দ্রা অঞ্চলে বাসকালীন মৌল বিপাকহার অপেক্ষা প্রায় 8-15% কম হইতে দেখা যায়। **(f) জাতিগোষ্ঠী :** বিভিন্ন জাতিগোষ্ঠীর মানুষের মৌল বিপাকহারে পার্থক্য দেখা যায়। উষ্ণ নিরক্ষীয় অঞ্চলের কৃষ্ণকায় অধিবাসী দীর্ঘকাল প্রতীচ্যে বসবাস করিলেও তাহার মৌল বিপাকহার শেষোক্ত অঞ্চলের শ্বেতাঙ্গ অধিবাসীর তুলনায় কম থাকে, আবার গ্রীনল্যাণ্ডের এস্কিমোর মৌল বিপাকহার শ্বেতাঙ্গদের তুলনায় অধিক। **(g) লিঙ্গ :** লিঙ্গনির্বিশেষে শিশুর মৌল বিপাকহার প্রায় অভিন্ন, কিন্তু বয়সের সঙ্গে সঙ্গে বালিকার মৌল বিপাকহার সমবয়স্ক বালকের তুলনায় দ্রুততর হ্রাস পাইতে থাকে, ফলে বয়ঃপ্রাপ্তির সময়ে কিশোরের মৌল বিপাক-হার সমবয়স্কা কিশোরীর তুলনায় অনেক বেশি। বয়ঃপ্রাপ্তির পরে উভয় লিঙ্গেই মৌল বিপাকহার প্রায় অভিন্ন হারে কমিতে থাকে, ফলে প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষের মৌল বিপাকহার সাধারণতঃ সমান দৈহিক ওজনবিশিষ্ট সমবয়স্কা নারী অপেক্ষা অধিক। **(h) দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল :** স্বাভাবিক অবস্থায় মৌল বিপাকহার প্রত্যক্ষভাবে দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফলের (body surface area) সহিত সম্পর্কিত—দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বাড়িলে মোটামুটি সেই বৃদ্ধির অনুপাতেই মৌল

বিপাকহারও বৃদ্ধি পায়। এজন্য প্রতি ঘণ্টায় এবং দেহপৃষ্ঠের প্রতি বর্গ মিটারে মৌল বিপাকহারের মান স্বাভাবিক অবস্থায় সকল সমবয়স্ক পুরুষের বা নারীর ক্ষেত্রে মোটামুটি অভিন্ন; অবশ্য লিঙ্গভেদে ও বয়সভেদে বর্গমিটারপ্রতি মৌল বিপাকহারের পার্থক্য দেখা যায় (উপরে দ্রষ্টব্য)। মৌল বিপাকহার নির্ণয়ের সময়ে দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল দেহের ওজন ও উচ্চতা হইতে সরাসরি হিসাব করিবার জন্য **ডুবয়েস ও ডুবয়েসের সূত্র** ব্যবহার করা যায় :

$$A = H^{0.725} \times W^{0.425} \times 71.84,$$

যেখানে 71.84 সংখ্যাটি একটি ধ্রুব (constant), H সেণ্টিমিটার পরীক্ষাধীন ব্যক্তির উচ্চতা, W কিলোগ্রাম তাহার দৈহিক ওজন এবং A বর্গ সেণ্টিমিটার তাহার দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল। অবশ্য বর্তমানে বিভিন্ন নরমিতীয় (anthropometric) উপাত্তের (data) উপরে নির্ভর করিয়া উপরি-উক্ত সূত্রের নানা সংশোধিত আকার প্রস্তাবিত ও ব্যবহৃত হইয়াছে। উচ্চতা (H সেণ্টিমিটার) এবং ঊরুর মধ্যস্থলের পরিধি (C সেণ্টিমিটার) মাপিয়া তাহা হইতেও দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল (A বর্গ সেণ্টিমিটার) হিসাব করা যায় : $A = 2HC$। যে কোনও পদ্ধতিতে নির্ণীত A বর্গ সেণ্টিমিটার হইতে $10^{-4}A$ হিসাব করিলে বর্গ মিটারে ক্ষেত্রফল পাওয়া যায়। 155 সেণ্টিমিটার উচ্চতা ও 60 কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের প্রাপ্তবয়স্ক ব্যক্তির দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল প্রায় 1.59 বর্গ মিটার : $10^{-4}A = 10^{-4}(155^{0.725} \times 60^{0.425} \times 71.84) \simeq 1.59$ বর্গ মিটার। প্রাপ্তবয়স্ক ব্যক্তি ও শিশুর জন্য প্রস্তাবিত পৃথক পৃথক নোমোগ্রামের সাহায্যেও দৈহিক উচ্চতা ও ওজন হইতে সরাসরি দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বাহির করা যায়। **(i) সমবেদী নার্ভতন্ত্রের ক্রিয়ার স্তর :** সমবেদী (sympathetic) নার্ভতন্ত্রের উদ্দীপনা ঘটিলে দেহে নর্-অ্যাড্রেন্যালিন ও অ্যাড্রেন্যালিনের ক্ষরণ, হৃৎপেশী ও বিভিন্ন অরেখ পেশীর সংকোচন, শ্বসনের হার প্রভৃতি বাড়িয়া বিপাকজাত শক্তির বৃদ্ধি ঘটে; এজন্য এমনকি বিশ্রামকালেও সমবেদী নার্ভতন্ত্রের তৎকালীন ন্যূনতম, অবিরাম ও অনিবার্য ক্রিয়ার মাত্রার উপরে মৌল বিপাকহার নির্ভর করে। **(j) মানসিক অবস্থা :** উদ্বেগ, উত্তেজনা, অশান্তি প্রভৃতি মানসিক অবস্থায় বিশ্রামকালেও সমবেদী নার্ভতন্ত্র ও অ্যাড্রেন্যালের উদ্দীপনা ঘটিয়া নর্-অ্যাড্রেন্যালিন ও অ্যাড্রেন্যালিন ক্ষরিত হয় এবং বিভিন্ন পেশীর টান (tension) বৃদ্ধি পায়; ফলে মৌল বিপাকহার বাড়িতে পারে। **(k) জ্বর :** জ্বর হইলে মৌল বিপাকহার বৃদ্ধি পায়—দেহতাপ 1°C বাড়িলে মৌল বিপাকহার গড়ে প্রায় 13% বর্ধিত হয়।

21.4 বিশেষ চল-ক্রিয়া (specific dynamic action)

কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট বা প্রোটিন আহারের পরে ঐ সকল খাদ্যবস্তুর বিপাকের সময়ে তাহাদের ক্যালরিমূল্যের অতিরিক্ত কিছু শক্তি দেহে উৎপন্ন ও ব্যয় হয়। এই অতিরিক্ত শক্তিকে উক্ত খাদ্যের **বিশেষ চল-ক্রিয়া** (SDA) বলা হয়। সম্ভবতঃ শোষিত খাদ্যের বিপাকজাত বস্তুগুলির প্রভাবে কোষমধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রত্যক্ষ উদ্দীপনা ও ত্বরণ (acceleration) ঘটিয়া পূর্ব হইতেই বর্তমান বস্তুগুলির বিপাক ও দহনের ফলেই বিশেষ চল-ক্রিয়ার উৎপত্তি হয়। প্রোটিনের বিশেষ চল-ক্রিয়া কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাটের তুলনায় অধিক। 25 গ্রাম প্রোটিন, 11 গ্রাম ফ্যাট বা 25 গ্রাম কার্বোহাইড্রেট খাওয়াইলে উক্ত খাদ্যগুলির প্রত্যেকটির বিপাকের ফলেই প্রায় 100 কিলোক্যালরি তাপ উৎপন্ন হয়, কিন্তু বিশেষ চল-ক্রিয়ার ফলে ঐ সঙ্গেই যথাক্রমে 30, 13 এবং 5 কিলোক্যালরি অতিরিক্ত তাপের উৎপত্তি ঘটে।

প্রোটিন আহারের পরে যে বিশেষ চল-ক্রিয়া ঘটিয়া থাকে, সম্ভবতঃ তাহার সহিত অ্যামাইনো অ্যাসিডের ডিঅ্যামিনেশন ও ইউরিয়া সংশ্লেষণের বিক্রিয়াগুলির সম্পর্ক আছে। প্রোটিনের বিশেষ চল-ক্রিয়ার ফলস্বরূপ যে অতিরিক্ত শক্তি উৎপন্ন হয় তাহা শ্রম বা অন্য কোনও জৈব ক্রিয়ায় প্রযুক্ত হইতে পারে না, কেবল শীতল আবহাওয়ায় দেহতাপ অক্ষুণ্ণ রাখিতে ব্যবহৃত হইতে পারে—দেহতাপ নিয়ন্ত্রণে ইহার প্রয়োজন না থাকিলে ঐ শক্তি তাপের আকারে দেহ হইতে বাহির হইয়া যায়। খাদ্যে প্রোটিনের সহিত চর্বি বা ফ্যাট মিশাইয়া খাইলে প্রোটিনের বিশেষ চল-ক্রিয়া অনেক কমিয়া যায়; আহার্যের কার্বোহাইড্রেটও প্রোটিনের বিশেষ চল-ক্রিয়াকে কিছুটা কমাইতে পারে। আবার বৃদ্ধি, রোগমুক্তির পরে স্বাস্থ্য পুনরুদ্ধার (convalescence), গর্ভ প্রভৃতির সময়ে শোষিত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির অধিকাংশই অপচিতির পরিবর্তে সত্বর প্রোটিন সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়, ফলে সে সময়ে প্রোটিনের বিশেষ চল-ক্রিয়া হ্রাস পায়।

খাদ্যের বিশেষ চল-ক্রিয়ায় যে শক্তির অপচয় ঘটে, তাহা পূরণ করিবার মত কিছু অতিরিক্ত খাদ্য আহার্যতালিকার অন্তর্ভুক্ত করা আবশ্যক। সাধারণতঃ দেহে মোট যত কিলোক্যালরির প্রয়োজন, তদপেক্ষা গড়ে 10% অধিক শক্তি দিবার মত খাদ্য আহার করিলে এই উদ্দেশ্য সিদ্ধ হয়।

21.5 দেহে শক্তির প্রয়োজনীয় পরিমাণ

মৌল বিপাকহার (BMR), বৃদ্ধি, জনন, দেহের ক্ষয়ক্ষতি নিবারণ,

শ্রম, দেহতাপ নিয়ন্ত্রণ প্রভৃতি জৈব ক্রিয়া সুসম্পন্ন করিবার ও অব্যাহত রাখিবার জন্য দেহে উপযুক্ত পরিমাণে শক্তি উৎপাদনের প্রয়োজন। আহার্যে গৃহীত খাদ্যবস্তুর দহনের দ্বারাই দেহে ঐ শক্তি উৎপন্ন হয়।

মৌল বিপাকহারের জন্য শক্তি : জাগ্রত অবস্থায় হৃৎস্পন্দন, শ্বসন, মূত্রক্ষরণ, আন্ত্রিক ক্রমসংকোচ, সোডিয়াম পাম্পের ক্রিয়া, মস্তিষ্ক ও যকৃতের অপরিহার্য বিপাকপদ্ধতি প্রভৃতি অনিবার্য ও অবিরত জৈব ক্রিয়াগুলির জন্য সর্বক্ষণই মৌল বিপাকহারের পরিমাণমত শক্তি ব্যয় হয়—সম্পূর্ণ দৈহিক ও মানসিক বিশ্রামের সময়েও ইহার কোনও ব্যতিক্রম ঘটে না। অবশ্য ঘুমের সময়ে সাধারণতঃ মৌল বিপাকহারের 90% হারে শক্তি ব্যয় হইয়া থাকে। উল্লিখিত বিষয়গুলি বিবেচনা করিয়া নিদ্রিত এবং জাগ্রত অবস্থায় বিশ্রামের সময়ের দৈর্ঘ্য অনুযায়ী ঐ দুই সময়ের জন্য শক্তির প্রয়োজনীয় পরিমাণ নির্ণয় করিতে হয়। এই প্রসঙ্গে স্মরণে রাখা উচিত যে বয়সের সঙ্গে সঙ্গে মৌল বিপাকহার কমিতে থাকে ; এজন্য বার্ধক্যে প্রয়োজনীয় শক্তির পরিমাণ যৌবনের তুলনায় কম (21.3 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। আবার নারীর মৌল বিপাকহার সমবয়স্ক পুরুষের তুলনায় 8-10% কম। গর্ভধারণের সময়ে স্বাভাবিক অবস্থার তুলনায় মৌল বিপাকহার বৃদ্ধি পায় ; গর্ভবতী নারীর ক্ষেত্রে শক্তির মোট প্রয়োজনীয়তা বৃদ্ধির ইহা অন্যতম কারণ।

শ্রমের জন্য শক্তি : যে কোনও প্রকার কাজকর্মের জন্যই মৌল বিপাকহারের অতিরিক্ত কিছু শক্তি ব্যয় হয়। ওঠাবসা, সামান্য চলাফেরা, বেশপরিবর্তন, স্নানাহার প্রভৃতি লঘু শ্রমের কাজ হইতে শুরু করিয়া কাঠচেরাই, পাথরভাঙ্গা, মোট বওয়া প্রভৃতি কঠিন শ্রমের কাজ পর্যন্ত নানা কাজকর্মে শ্রমের গুরুত্ব অনুসারে এই অতিরিক্ত শক্তির প্রয়োজনীয়তায় তারতম্য ঘটে। নানাপ্রকার শ্রমের সময়ে প্রতি ঘণ্টায় এবং প্রতি কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য শক্তিব্যয়ের পরিমাণ কিলোক্যালরির হিসাবে প্রায় নিম্নরূপ :

(*a*) **পেশাবহির্ভূত কাজকর্ম :** বসিয়া বা দাঁড়াইয়া থাকা : 1.4-1.6 ; স্নানাহার, কেশচর্চা, দাড়ি কামানো বা বেশ পরিবর্তন : 3-4 ; পদব্রজে সমতলে ভ্রমণ 3-4 ; সিঁড়িতে নামা : 5 ; দৌড়ানো : 8 ; সিঁড়িতে ওঠা : 15-16।

(*b*) **লঘু শ্রমের পেশা :** সেলাই করা, খাতা লেখা, টাইপ করা, কুটনা কোটা, রান্নাবান্না করা, বাসচালনা, রসায়নশালায় পরীক্ষানিরীক্ষা প্রভৃতি : 1.7-3.4।

(*c*) মধ্যম শ্রমের পেশা : ছুতার, রং-মিস্ত্রী, ডাকহরকরা, ধোপা, চাষী, ক্রিকেট বা টেনিস খেলোয়াড় প্রভৃতি : 3.5-5.5 ।

(*d*) কঠিন শ্রমের পেশা : কাঠচেরাই, রিক্সাচালনা, পাথরভাঙ্গা, মোট বওয়া, পর্বতারোহণ, ফুটবল বা রাগবি খেলা, ভারোত্তোলন, সাঁতার কাটা ইত্যাদি : 6-10 ।

এককথায়, পেশা অনুযায়ী 60 কিলোগ্রাম ওজনের প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষের ক্ষেত্রে প্রতি ঘণ্টায় মৌল বিপাকহারের অতিরিক্ত শক্তিব্যয়ের পরিমাণ (কিলোক্যালরি) দাঁড়ায় মোটামুটি এইরকম : টাইপিস্ট : 70 ; ছুতার : 160 ; ডাকহরকরা : 190 ; কাঠচেরাই শ্রমিক : 420 ।

বলা বাহুল্য যে 24 ঘণ্টায় নিদ্রা, জাগরণকাল, পেশাবহির্ভূত কাজকর্ম এবং পেশাসম্পর্কিত কাজকর্মের বৈচিত্র্য, গুরুত্ব ও স্থায়িত্বকাল বিবেচনা করিয়া দৈনিক প্রয়োজনীয় শক্তির পরিমাণ হিসাব করিতে হয় এবং খাদ্যে তদনুযায়ী ক্যালরির ব্যবস্থা করিতে হয় (378 পৃষ্ঠায় সারণী 21.1 দ্রষ্টব্য) ।

বৃদ্ধির জন্য শক্তি : শৈশব, বাল্য ও কৈশোরে প্রাপ্তবয়স্কের তুলনায় প্রতি কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য অধিকতর ক্যালরির প্রয়োজন হয় । এই অতিরিক্ত খাদ্যবস্তু শিশু, বালক বা কিশোরের দেহে বর্ধনশীল কলাগুলির গঠন ও বিকাশে ব্যবহৃত হয়—শিশুর খাদ্যে উপযুক্ত পরিমাণে ক্যালরির অভাব না থাকিলে উহার প্রায় 10-15% কলাগুলিতে সঞ্চিত হইতে দেখা যায় । তাহা ছাড়া এই সময়ে মৌল বিপাকহার এবং খেলাধুলায় শক্তিব্যয়ের পরিমাণও প্রাপ্তবয়স্কের তুলনায় অধিক । এসকল কারণে বৃদ্ধির সময়ে খাদ্যে অতিরিক্ত শক্তির প্রয়োজন ঘটে । দীর্ঘ রোগভোগের পরে স্বাস্থ্য পুনরুদ্ধারের (convalescence) সময়েও ক্ষয়প্রাপ্ত কলাগুলির পুনর্গঠনের জন্য অতিরিক্ত শক্তির আবশ্যক হয় ।

গর্ভ ও দুগ্ধক্ষরণের জন্য শক্তি : গর্ভধারণের সময়ে জরায়ু (uterus), জরায়ুনালী (Fallopian tubes), স্তন প্রভৃতি স্ত্রী-অঙ্গের বৃদ্ধি এবং ভ্রূণদেহের কলাগুলির গঠন, বৃদ্ধি ও বিকাশের জন্য গর্ভবতী নারীর খাদ্যে শক্তির প্রয়োজনীয়তা যথেষ্ট বাড়িয়া যায় । গর্ভকালে মাতার মৌল বিপাকহারও স্বাভাবিকের তুলনায় বর্ধিত হয় । এসকল কারণে গর্ভবতী নারীর দিনে প্রায় 300 কিলোক্যালরি অতিরিক্ত শক্তির প্রয়োজন হইয়া থাকে । গর্ভাবস্থার শেষ তিন মাসেই শক্তির প্রয়োজনীয়তা সর্বাধিক । পক্ষান্তরে, স্তনদাত্রী (lactating) মাতার প্রাত্যহিক খাদ্যে সাধারণ অবস্থার তুলনায় প্রায় 500

কিলোক্যালরি অধিক শক্তির আবশ্যকতা থাকে ; ঐ অতিরিক্ত শক্তি দুধের উপাদানগুলির সংশ্লেষণ ও দুগ্ধক্ষরণের জন্য ব্যয় হইয়া থাকে।

বিশেষ চল-ক্রিয়ার জন্য শক্তি : খাদ্যের বিশেষতঃ প্রোটিন অংশের বিপাকের সময়ে উহাতে নিহিত শক্তির তুলনায় কিছু অতিরিক্ত শক্তি বিশেষ চল-ক্রিয়ার (specific dynamic action) ফলে ব্যয় হইয়া যায় (21.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। এই অতিরিক্ত শক্তি সরবরাহ করিবার জন্য অর্থাৎ বিশেষ চল-ক্রিয়ার সমতুল্য ক্যালরি দেওয়ার জন্য খাদ্যে অতিরিক্ত ক্যালরির প্রয়োজন হয়। সাধারণতঃ দেহের মোট যত কিলোক্যালরির আবশ্যকতা থাকে, তাহার সহিত আরও 8-10% যোগ দিলে বিশেষ চল-ক্রিয়াজনিত শক্তির সরবরাহ অক্ষুণ্ণ থাকে।

21.6 খাদ্যে কার্বোহাইড্রেট

দেহের মোট প্রয়োজনীয় শক্তির প্রায় 60-70% কার্বোহাইড্রেট-জাতীয় খাদ্য হইতে পাওয়া উচিত। ভারতীয় চিকিৎসা গবেষণা পরিষদের (ICMR) সমীক্ষায় দেখা গিয়াছে যে তামিলনাড়ু, অন্ধ্রপ্রদেশ প্রভৃতি দক্ষিণ ভারতীয় রাজ্যে কার্বোহাইড্রেটের ব্যবহার অপেক্ষাকৃত অধিক—খাদ্যের মোট ক্যালরির শতকরা 80 ভাগেরও বেশি কার্বোহাইড্রেট হইতে আসে ; কিন্তু পাঞ্জাব, পশ্চিমবঙ্গ ও মহারাষ্ট্রে মোট ক্যালরির শতকরা 70 ভাগ বা তাহার কম অংশ কার্বোহাইড্রেট হিসাবে আহার করা হয়। বস্তুতঃ দক্ষিণ ও দক্ষিণ-পূর্ব এশিয়া এবং আফ্রিকার স্বল্পবিত্ত জনসাধারণের ক্ষেত্রে সস্তা কার্বোহাইড্রেট-প্রধান খাদ্যই মুখ্য আহার্য—উহাদের খাদ্যে মোট ক্যালরির প্রায় 70-85% কার্বোহাইড্রেট হিসাবে গৃহীত হয় ; অন্যদিকে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র, কানাডা, পশ্চিম জার্মানি, সুইডেন প্রভৃতি উচ্চবিত্ত দেশে মোট ক্যালরির মাত্র 45-50% কার্বোহাইড্রেটরূপে আহার করা হয়।

মোট প্রয়োজনীয় শক্তির অন্ততঃ 20% পাইবার মত কার্বোহাইড্রেট খাদ্যে না থাকিলে দেহে কার্বোহাইড্রেটের অভাববশতঃ ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ বাড়িয়া কিটোনবর্গীয় পদার্থের আধিক্য (কিটোসিস) ঘটিতে পারে। অবশ্য এস্কিমোদের এবং প্রধানতঃ শিকারনির্ভর আদিবাসীদের খাদ্যে কার্বো-হাইড্রেট অত্যন্ত কম থাকিলেও তাহাদের কোনও অসুবিধা প্রকট হয় না। প্রতীচ্যের পুষ্টিবিজ্ঞানীদের আধুনিক মত হইল, মোট আবশ্যকীয় ক্যালরির অন্ততঃ শতকরা 55-65 ভাগ দিবার মত পরিমাণে স্টার্চ, ডেক্সট্রিন প্রভৃতি বৃহদণু, জটিল অথচ সুপাচ্য পলিস্যাকারাইড এবং অনধিক 10-15

ভাগ দিবার মত পরিমাণে ফ্রুক্টোজ, সুক্রোজ, ল্যাক্টোজ, মল্টোজ প্রভৃতি সরলতর ক্ষুদ্রাণু শর্করাগুলি খাদ্যে থাকা উচিত।

পর্বতাভিযাত্রীর খাদ্যে মোট প্রয়োজনীয় কিলোক্যালরির অধিকাংশ পাইবার মত কার্বোহাইড্রেট থাকা উচিত, কারণ প্রোটিন বা ফ্যাটের তুলনায় কার্বোহাইড্রেট জারণের সময়ে অর্থাৎ শ্বাসানুপাত (RQ) 1.00 বা তাহার কাছাকাছি থাকিলে দেহে ব্যবহৃত অক্সিজেনের লিটারপ্রতি উৎপন্ন ক্যালরির পরিমাণ সর্বাধিক থাকে। কঠিন শ্রমের পেশা বা শ্রমসাধ্য খেলাধুলায় নিয়োজিত ব্যক্তির খাদ্যে অধিক ক্যালরির সরবরাহের জন্য এবং পেশীতে গ্লাইকোজেনের সঞ্চয় অক্ষুণ্ণ রাখিবার জন্য ঐরূপ ব্যক্তির অপেক্ষাকৃত অধিক পরিমাণে কার্বোহাইড্রেট খাওয়া উচিত।

প্রতি গ্রাম কার্বোহাইড্রেটের দহনে দেহে প্রায় 4 কিলোক্যালরি শক্তি উৎপন্ন হয়। সেই অনুপাতে হিসাব করিয়া খাদ্যে কার্বোহাইড্রেটের পরিমাণ নির্ণয় করিতে হয়। যথা, কোনও ব্যক্তির খাদ্যে মোট 2800 কিলোক্যালরির প্রয়োজন থাকিলে তাহার 70% অর্থাৎ প্রায় 1960 কিলোক্যালরি দিবার জন্য দৈনিক আহার্যে 1960÷4 অথবা 490 গ্রাম কার্বোহাইড্রেট থাকা উচিত।

খাদ্যে যথেষ্ট পরিমাণে কার্বোহাইড্রেট থাকিলে শক্তি উৎপাদনের জন্য প্রোটিনের ভাঙ্গনের প্রয়োজন হয় না, বরং কার্বোহাইড্রেটের আংশিক বিপাকজাত পাইরুভেট, অ্যাল্‌ফা-কিটোগ্লুটারেট প্রভৃতি অ্যাল্‌ফা-কিটো অ্যাসিড হইতে ট্রান্সঅ্যামিনেশনের মাধ্যমে কিছু অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপন্ন হইতে পারে। এসকল কারণে কার্বোহাইড্রেট দেহে প্রোটিনের ভাঙ্গন, মূত্রে প্রোটিনেতর নাইট্রোজেনের (NPN) রেচন এবং খাদ্যে প্রোটিনের প্রয়োজনীয়তা কমাইয়া দেয় (**প্রোটিন সংরক্ষক ক্রিয়া** protein sparing action)।

চাল, গম, যব, জোয়ার, বাজরা প্রভৃতি দানাশস্য, চিনি, গুড়, মধু প্রভৃতি শর্করাপ্রধান গাঢ় (concentrated) খাদ্য এবং আলু, বীট, ট্যাপিয়োকা, রাঙ্গা আলু প্রভৃতি কন্দ ও মূলই খাদ্যে কার্বোহাইড্রেটের প্রধান উৎস। অবশ্য চাল, গম প্রভৃতি দানাশস্যের পরিবর্তে আলু, ট্যাপিয়োকা প্রভৃতি কন্দ বা মূল খাওয়াইয়া রাখিলে ভিটামিন, প্রোটিন ও খনিজ লবণের জন্য খাদ্যে ডাল, শাক প্রভৃতির পরিমাণ বাড়াইতে হয়, কারণ দানাশস্যগুলিতে কন্দ বা মূলগুলির তুলনায় কিছু অধিক প্রোটিন, ভিটামিন ও লবণ থাকে। শাক, মূলা, শালগম প্রভৃতি সব্জির সেলুলোজ অশোষিত অবস্থায় থাকিয়া মলের পরিমাণ বাড়াইয়া কোষ্ঠকাঠিন্য নিবারণ করে। মধুমেহ (diabetes mellitus) রোগে খাদ্যে কার্বোহাইড্রেট ও মোট ক্যালরি কমাইতে হয়;

সেক্ষেত্রেও শাকসবজি আহারের দ্বারা উদরপূর্তি করিয়া অত্যধিক ক্ষুধার মানসিক প্রতিক্রিয়া নিবারণ করিতে হয়। আচার, লেবু, আম, কলা, দই, ভিনেগার, তেঁতুল প্রভৃতির অ্যাসেটিক, ল্যাক্টিক, সাইট্রিক ইত্যাদি জৈব অ্যাসিড দেহে গ্লুকোনিওজেনেসিসের দ্বারা কার্বোহাইড্রেট উৎপাদন করিতে পারে। দুধের শর্করা ল্যাক্টোজ শিশুর মস্তিষ্কের গঠন ও বিকাশের জন্য অত্যাবশ্যক, কারণ উহার পরিপাকজাত গ্যালাক্টোজ মস্তিষ্কের গ্যালাক্টো-লিপিডগুলির অপরিহার্য উপাদান। কিন্তু অনেক বয়স্ক লোকের আন্ত্রিক রসে ল্যাক্টেজের ক্ষরণ কমিয়া যাওয়ায় তাহারা দুধের ল্যাক্টোজকে পরিপাক করিতে পারে না এবং তাহাদের অন্ত্রে ল্যাক্টোজের কিণ্বন (fermentation) ঘটিয়া উদরাময়, বায়ুবৃদ্ধি (flatulence), উদরবেদনা প্রভৃতি দেখা দেয়; কখনও কখনও জন্ম হইতেই শিশুর অন্ত্রে ল্যাক্টেজের অভাব ঘটিয়া ঐরূপ রোগলক্ষণ প্রকট হয়। এসকল ক্ষেত্রে খাদ্যে ল্যাক্টোজ কমাইয়া দিতে হয়।

21.7 খাদ্যে ফ্যাট

মোট প্রয়োজনীয় শক্তির প্রায় 20-30% খাদ্যের ফ্যাট হইতে পাওয়া উচিত। অবশ্য ভারতীয় চিকিৎসা গবেষণা পরিষদের (ICMR) সমীক্ষায় দেখা গিয়াছে যে তামিলনাড়ু, অন্ধ্রপ্রদেশ, বিহার প্রভৃতি বহু রাজ্যেই মোট ক্যালরির শতকরা 10 ভাগ বা তাহারও কম অংশ ফ্যাট হইতে আসে; পাঞ্জাব, পশ্চিমবঙ্গ ও মহারাষ্ট্রে ফ্যাট হইতে পাওয়া যায় মোট শক্তির শতকরা প্রায় 17-19 ভাগ। পক্ষান্তরে, মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র, কানাডা প্রভৃতি পশ্চিমী উচ্চবিত্ত দেশগুলিতে মোট আবশ্যকীয় ক্যালরির শতকরা প্রায় 40-45 ভাগ ফ্যাটের আকারে আহার করা হয়। অন্যদিকে মেক্সিকো, পেরু প্রভৃতি দেশের আদি অধিবাসীদের খাদ্যে ফ্যাট খুব কম থাকিলেও তাহাদের স্বাস্থ্যহানি হইতে দেখা যায় না।

প্রতি গ্রাম ফ্যাটের দহনে প্রায় 9 কিলোক্যালরি শক্তি পাওয়া যায়। যেহেতু কার্বোহাইড্রেট বা প্রোটিনের তুলনায় সমপরিমাণ ফ্যাট হইতে অধিকতর শক্তি উৎপন্ন হয়, অতএব যে সকল ব্যক্তির খাদ্যে ক্যালরির প্রয়োজনীয়তা অধিক (যেমন, কঠিন পরিশ্রমী ব্যক্তি) তাহাদের খাদ্যে অপেক্ষাকৃত অধিক ফ্যাট দিলে খাদ্যের মোট পরিমাণের অস্বাভাবিক আধিক্য নিবারণ করা যায়। কোনও ব্যক্তির দিনে 2800 কিলোক্যালরি শক্তির আবশ্যকতা থাকিলে তাহার 25% অর্থাৎ প্রায় 700 কিলোক্যালরি দিবার জন্য

দৈনিক আহার্যে 700÷9 অথবা প্রায় 80 গ্রাম ফ্যাট থাকিতে পারে। ঘি, মাখন, 'বনস্পতি', নানা প্রকার উদ্ভিজ্জ তৈল, বাদাম, ডিম, চর্বিযুক্ত মাংস, চিতল প্রভৃতি তৈলাক্ত মাছ এবং সরিষা, তিল প্রভৃতি তৈলবীজ খাদ্যে ফ্যাটের প্রধান উৎস।

খাদ্যের পরিমাণে অত্যধিক বৃদ্ধি না ঘটাইয়া তাহা হইতে অধিক ক্যালরি পাইবার জন্য খাদ্যে ফ্যাটের প্রয়োজন আছে। তাহা ছাড়া ফ্যাট খাদ্যের স্বাদুতা বর্ধিত করে। ফ্যাট কার্বোহাইড্রেটের মতই **প্রোটিন সংরক্ষক** (protein sparer) রূপে কাজ করে—আহার্যে পর্যাপ্ত পরিমাণে ফ্যাট থাকিলে শক্তি উৎপাদনের জন্য প্রোটিনের ভাঙ্গনের প্রয়োজন হয় না এবং মূত্রে প্রোটিনেতর নাইট্রোজেনের রেচন ও খাদ্যে প্রোটিনের প্রয়োজনীয় পরিমাণ কিছু হ্রাস পায়। আবার ফ্যাটের প্রভাবে প্রোটিনের বিশেষ চল-ক্রিয়া (specific dynamic action) অনেকাংশে কমিয়া যাওয়ায় দেহে শক্তির অপব্যয় হ্রাস পাইয়া খাদ্যে মোট ক্যালরির প্রয়োজনীয়তাও কিছু কমে। খাদ্যের ফ্যাটে চর্বিদ্রাব্য (fat-soluble) ভিটামিনগুলি দ্রবীভূত হইয়া থাকে, সেজন্য ঐসকল ভিটামিনের উৎস হিসাবেও পথ্যে ফ্যাটের গুরুত্ব আছে। কিন্তু প্রয়োজনাতিরিক্ত ফ্যাট খাইলে রক্তে কোলেস্টেরলের মাত্রাধিক্যের আশংকা থাকে, সেজন্য স্বল্প পরিশ্রমী বা অবসরভোগী ব্যক্তি, হৃদ্‌রোগী, মেদবহুল ব্যক্তি অথবা ধমনীকাঠিন্যে (arteriosclerosis) আক্রান্ত রোগীর আহার্যে ফ্যাটের, বিশেষতঃ সংপৃক্ত (saturated) ফ্যাটের পরিমাণ কমাইতে হয়। তাহা ছাড়া মাত্রাতিরিক্ত ফ্যাট খাইলে অন্ত্র হইতে ক্যালসিয়ামের শোষণ এবং পাকস্থলীতে প্রোটিনের পরিপাক লক্ষণীয়ভাবে হ্রাস পায়—ফ্যাটের আধিক্য পাকস্থলী-রসের ক্ষরণকে যথেষ্ট কমাইয়া দিতে পারে।

খাদ্যের ফ্যাটে পর্যাপ্ত পরিমাণে বহু-অসংপৃক্ত (polyunsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি এবং বিশেষতঃ অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি (essential fatty acids) থাকা প্রয়োজন। অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডের অভাবজনিত রোগ নিবারণের জন্য শিশু ও প্রাপ্তবয়স্কের খাদ্যে মোট কিলোক্যালরির যথাক্রমে শতকরা 4 এবং 1 ভাগ দিবার মত অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড থাকা উচিত। অসংপৃক্ত (unsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি রক্তে কোলেস্টেরলের পরিমাণও কমাইয়া থাকে; এজন্য 'বনস্পতি', মাখন, ঘি প্রভৃতি সংপৃক্ত ফ্যাটের পরিবর্তে প্রধানতঃ বাদাম তেল, সরিষার তেল প্রভৃতি অসংপৃক্ত উদ্ভিজ্জ তৈল আহারের গুরুত্ব বাড়িয়াছে। তাহা ছাড়া অসংপৃক্ত ফ্যাট সংপৃক্ত ফ্যাটের তুলনায় অনেক সহজে পরিপাক হয়—অসংপৃক্ত সরিষার তেলের শতকরা প্রায় 96 ভাগ

পরিপাক হইয়া শোষিত হয়, কিন্তু অধিকতর সংপৃক্ত নারিকেল তেলের শতকরা মাত্র 88 ভাগ অন্ত্র হইতে শোষিত হইতে পারে। আধুনিক পুষ্টিবিজ্ঞানীদের মতে, খাদ্যের মোট ক্যালরির শতকরা 10 ভাগের বেশি শক্তি কখনও সংপৃক্ত ফ্যাট হইতে আসা উচিত নয় : পক্ষান্তরে মোট ক্যালরির শতকরা প্রায় 20 ভাগ পর্যন্ত শক্তি দিবার মত অসংপৃক্ত ফ্যাট খাদ্যে থাকিতে পারে—ইহার মধ্যে আবার মোট ক্যালরির শতকরা 10 ভাগ বহু-অসংপৃক্ত (polyunsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিডের আকারে খাদ্যে থাকা ভালো।

খাদ্যে কোলেস্টেরলেব পরিমাণ বাড়িলে রক্তে ঐ বস্তুটির মাত্রাধিক্য ঘটিয়া ধমনীকাঠিন্যের (arteriosclerosis) ও হৃদ্‌রোগের প্রবণতা বাড়ে। এজন্য দিনে 300 মিলিগ্রামের অধিক কোলেস্টেরল আহার্যে থাকা উচিত নয়। ডিম, চর্বি, চর্বিযুক্ত মাংস প্রভৃতি খাদ্য রক্তে কোলেস্টেরল বাড়াইতে পারে ; এজন্য খাদ্যে এসকল জান্তব ফ্যাটের পরিমাণ কমাইয়া তাহার পরিবর্তে প্রয়োজনমত উদ্ভিজ্জ তৈলের আকারে অসংপৃক্ত ফ্যাট আহার করিলে রক্তে কোলেস্টেরলের বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

21.8 খাদ্যে প্রোটিন

খাদ্যে কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাটের মুখ্য উদ্দেশ্য দেহে শক্তি উৎপাদন, কিন্তু প্রোটিন প্রধানতঃ দেহের প্রোটিনের দৈনন্দিন ক্ষয়ক্ষতি পূরণ ও রোগপ্রতিরোধের জন্য এবং বৃদ্ধি, রোগমুক্তির পরে স্বাস্থ্যোদ্ধার, গর্ভধারণ প্রভৃতি অবস্থায় দেহের কলায় প্রোটিনের পরিমাণ বাড়াইবার জন্য আবশ্যক। মোট প্রয়োজনীয় ক্যালরির শতকরা 6-8 ভাগ দিবার মত প্রোটিন সাধারণতঃ খাদ্যে থাকা উচিত। প্রতি গ্রাম প্রোটিনের দহনে দেহে প্রায় 4 কিলোক্যালরি উৎপন্ন হইতে পারে। ভারতীয় চিকিৎসা গবেষণা পরিষদের (ICMR) বিবেচনায় ভারতীয়দের দৈনিক খাদ্যে প্রোটিনের নিম্নতম প্রয়োজনীয় পরিমাণ এইরূপ : প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ : 55 গ্রাম , প্রাপ্তবয়স্কা নারী : 45 গ্রাম ; গর্ভবতী নারী : 55 গ্রাম : স্তনদাত্রী (lactating) নারী : 65 গ্রাম ; বিদ্যালয়ের ছাত্রছাত্রী : 25-55 গ্রাম। স্বাভাবিক অবস্থায় প্রতি কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য দৈনিক খাদ্যে নিম্নলিখিত পরিমাণে প্রোটিন থাকা প্রয়োজন : প্রাপ্তবয়স্ক স্ত্রীপুরুষ : 0.8 গ্রাম, বালকবালিকা : 1.2-2 গ্রাম, শিশু : 2-2.3 গ্রাম। স্বাভাবিক অবস্থায় প্রোটিনের মোট প্রয়োজনীয় পরিমাণের তুলনায় গর্ভাবস্থার শেষার্ধে দৈনিক অন্ততঃ 10 গ্রাম অতিরিক্ত প্রোটিনের প্রয়োজন হয়। দুগ্ধক্ষরণের সময়ে সাধারণ অবস্থার তুলনায় দিনে অন্ততঃ 20 গ্রাম অতিরিক্ত প্রোটিনের

প্রয়োজন থাকে। গর্ভাবস্থায় জরায়ু, স্তন প্রভৃতি স্ত্রী-অঙ্গে এবং ভ্রূণের বিকাশমান কলাগুলিতে প্রোটিনের সংশ্লেষণ ও সঞ্চয়ের জন্য, দুগ্ধক্ষরণের সময়ে স্তনে দুধের প্রোটিন সংশ্লেষণের জন্য এবং শৈশব ও বাল্যে বর্ধিষ্ণু কলাগুলিতে প্রোটিন সঞ্চয়ের জন্য ঐসকল অবস্থায় খাদ্যে প্রোটিনের প্রয়োজনীয়তা বৃদ্ধি পায়। বার্ধক্যে মোট প্রয়োজনীয় ক্যালরির পরিমাণ কমিয়া গেলেও প্রোটিনের প্রয়োজনীয়তা হ্রাস পায় না, কারণ তখন ক্ষয়িষ্ণু কলাগুলির ক্ষয়পূরণের জন্য যথেষ্ট প্রোটিনের আবশ্যকতা থাকে।

মাছমাংস, ডিম, দুধ, মেটে প্রভৃতি জান্তব খাদ্য এবং চাল, গম, অন্যান্য দানাশস্য, ডাল, ছোলা, মটর, চীনাবাদাম, শিম্বজাতীয় বীজ প্রভৃতি উদ্ভিজ্জ খাদ্য হইতে প্রোটিন পাওয়া যায়। রাষ্ট্রসংঘের খাদ্য ও কৃষি সংস্থার (FAO) সমীক্ষায় জানা গিয়াছে যে, ভারতে মাথাপিছু দৈনিক প্রোটিন আহারের পরিমাণ গড়ে 50 গ্রাম বা তাহার কম এবং ইহার শতকরা ৪৪ ভাগই ডাল, দানাশস্য প্রভৃতির অপেক্ষাকৃত সস্তা উদ্ভিজ্জ প্রোটিন ও শতকরা মাত্র 12 ভাগ মাছমাংস প্রভৃতির মহার্ঘ জান্তব প্রোটিন। পক্ষান্তরে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র, ব্রিটেন, অস্ট্রেলিয়া প্রভৃতি দেশে দৈনিক আহার্যে প্রোটিনের পরিমাণ গড়ে 90 গ্রাম বা ততোধিক এবং ইহার শতকরা 60-70 ভাগই মহার্ঘ জান্তব প্রোটিন। আবার গ্রীনল্যাণ্ডের অবিমিশ্র মাংসাহারী এস্কিমোদের একমাত্র আহার্য বলগা হরিণ, সীল, সিন্ধুঘোটক, সামুদ্রিক মাছ, পাখি প্রভৃতির কাঁচা মাংস।

প্রোটিনের জৈব মূল্য (biological value): নাইট্রোজেন-সাম্য (nitrogen balance) ও দেহের বৃদ্ধিকে অব্যাহত রাখিবার পক্ষে কোনও প্রোটিনের উপযোগিতা উহার জৈব মূল্য নির্ধারণের দ্বারা নির্ণয় করা যায়। খাদ্যের প্রোটিন হইতে শোষিত নাইট্রোজেনের শতকরা যত ভাগ দেহে সংরক্ষিত হয়, তাহাকেই উক্ত প্রোটিনের জৈব মূল্য বলা হয়। জৈব মূল্য নির্ণয়ের জন্য মিচেল-বর্ণিত পদ্ধতিতে ইঁদুরকে কয়েক দিন প্রোটিনবিহীন খাদ্য খাওয়াইয়া রাখিয়া তাহার মল ও মূত্রে নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয় করা হয়; ইহা হইতে মল ও মূত্রে আভ্যন্তরীণ (endogenous) ও বিপাক-জাত (metabolic) নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ণীত হয়। অতঃপর পরীক্ষাধীন প্রোটিনটি সুনির্দিষ্ট পরিমাণে উক্ত প্রাণীকে খাওয়াইয়া তাহার মল ও মূত্রে নাইট্রোজেনের পরিমাণ পুনর্বার নির্ণয় করা হয়। প্রোটিনাহারের পরে মলে যতখানি নাইট্রোজেন পাওয়া যায়, তাহা হইতে মলে বিপাকজাত নাইট্রোজেনের পরিমাণ বাদ দিলে উক্ত প্রোটিনের অশোষিত নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ণীত হয় এবং উহাকে ভুক্ত প্রোটিনের মোট নাইট্রোজেন হইতে বাদ

দিলে মোট শোষিত নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ধারিত হয়। আবার প্রোটিনাহারের পরে মূত্রে যতখানি নাইট্রোজেন বাহির হয়, তাহা হইতে মূত্রে আভ্যন্তরীণ নাইট্রোজেনের পরিমাণ বাদ দিলে মূত্রে ভুক্ত প্রোটিনটির ভাঙ্গন-জাত নাইট্রোজেনের পরিমাণ পাওয়া যায়। শেষোক্ত পরিমাণকে মোট শোষিত নাইট্রোজেন হইতে বাদ দিলে দেহে সংরক্ষিত নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ণীত হয়। এই সংরক্ষিত নাইট্রোজেন মোট শোষিত নাইট্রো-জেনের শতকরা কত ভাগ, তাহা হিসাব করিলেই ভুক্ত প্রোটিনটির জৈব মূল্য পাওয়া যায়।

$$\text{জৈব মূল্য} = \frac{100 \times \text{সংরক্ষিত N}}{\text{শোষিত N}}$$

$$= \frac{100 \times [\text{খাদ্যের N} - (\text{মলের N} - \text{মলে বিপাকজাত N}) - (\text{মূত্রের N} - \text{মূত্রে আভ্যন্তরীণ N})]}{\text{খাদ্যের N} - (\text{মলের N} - \text{মলে বিপাকজাত N})}$$

প্রোটিনে বিভিন্ন অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের উপস্থিতি ও পরিমাণের উপরে উহার জৈব মূল্য নির্ভর করে (19.4 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)। ডিম, দুধ, মেটে, মাছমাংস প্রভৃতি জান্তব প্রোটিনে সব কয়টি অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিড পর্যাপ্ত পরিমাণে ও যথাযথ অনুপাতে থাকায় তাহারা দেহে অবিলম্বে প্রোটিন উৎপাদন করিয়া সঞ্চিত থাকে এবং তাহাদের বিশেষ ভাঙ্গন বা অপচয় ঘটে না; এজন্য এসকল প্রোটিনের জৈব মূল্য অধিক এবং ইহারা দেহের বৃদ্ধি ও নাইট্রোজেন-সাম্য রক্ষায় সবিশেষ কার্যকরী। জান্তব প্রোটিনগুলির মধ্যে আবার ডিমের কুসুমের ওভোভিটেলিন এবং দুধের ল্যাক্‌টঅ্যালবুমিন ও ল্যাক্‌টগ্লোবিউলিনের জৈব মূল্য অত্যন্ত বেশি। পক্ষান্তরে, যোগকলার কোলাজেন এবং তাহা হইতে উদ্ভূত জেলাটিনের জৈব মূল্য অন্যান্য জান্তব প্রোটিনের তুলনায় অনেক কম, কারণ কোলাজেনে ট্রিপ্‌টোফ্যান নামক অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাব আছে। জান্তব প্রোটিনগুলির তুলনায় চাল, গম, ডাল বা আলুর উদ্ভিজ্জ প্রোটিনের জৈব মূল্য অনেক কম—চাল ও গমের প্রোটিনে লাইসিন নামক অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাব আছে, ভুট্টার প্রোটিনে লাইসিন ও ট্রিপ্‌টো-ফ্যান উভয়েরই অভাব, ডালের প্রোটিনে মেথিওনিন ও ট্রিপ্‌টোফ্যানের অপ্রতুলতা, তিলের প্রোটিনে ভ্যালিন ও লাইসিনের এবং জোয়ারের প্রোটিনে ট্রিপ্‌টোফ্যানের অভাব থাকে। এজন্য এসকল উদ্ভিজ্জ প্রোটিন দেহের বৃদ্ধি ও নাইট্রোজেন-সাম্য অব্যাহত রাখিতে পারে না। ডিম, গম ও ভুট্টার

প্রোটিনের জৈব মূল্য যথাক্রমে প্রায় 96, 67 ও 60। কোনও প্রোটিনে যে অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডটির অভাব সর্বাধিক, তাহাকে উক্ত প্রোটিনের **পুষ্টিনিয়ন্ত্রক অ্যামাইনো অ্যাসিড** (limiting amino acid) বলে।

খাদ্যে অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাবের আশঙ্কা নিবারণের জন্য মোট প্রোটিনের 30-50% পরিমাণে উচ্চ জৈব মূল্যবিশিষ্ট জান্তব প্রোটিন আহার করা ভাল। পুষ্টিবিজ্ঞানীদের সুপারিশ অনুযায়ী স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষের দৈনিক আহার্যে প্রত্যেক কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য নিম্নলিখিত পরিমাণে (মিলিগ্রাম) অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি থাকা উচিত : লাইসিন : 12, লিউসিন : 14, আইসোলিউসিন : 10, মেথিওনিন : 10, ভ্যালিন : 12, থ্রিওনিন : 7, ফিনাইলঅ্যালানিন : 14, ট্রিপ্‌টোফ্যান : 3। ইহা ছাড়া খাদ্যে যথেষ্ট পরিমাণে অনপরিহার্য (nonessential) অ্যামাইনো অ্যাসিডও থাকা উচিত, নচেৎ অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির আবশ্যকীয় পরিমাণ বহুগুণে বৃদ্ধি পায়। প্রাপ্তবয়স্কের খাদ্যে হিস্টিডিন না থাকিলেও চলে, কিন্তু শৈশবে ও বাল্যে ইহা অন্যতম অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিড।

প্রোটিনের সম্পূরক ক্রিয়া (supplementary action) : একাধিক প্রোটিন মিশাইয়া খাইলে তাহারা পরস্পরের জৈব মূল্যকে প্রায়ই বাড়াইয়া দেয়, কারণ একটি প্রোটিনে কোনও অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাব থাকিলে অন্য প্রোটিনটির দ্বারা সেই অভাব পূরণ হইয়া যাইতে পারে এবং তাহার ফলে খাদ্য হইতে সকল অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডই একই সময়ে ও পর্যাপ্ত পরিমাণে শোষিত হইয়া দেহে প্রোটিন সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হইতে পারে। প্রোটিনের এই সম্পূরক ক্রিয়ার জন্যই একাধিক নিম্ন জৈব মূল্য-বিশিষ্ট উদ্ভিজ্জ প্রোটিন মিশাইয়া খাইলে অনেকটা উচ্চ জৈব মূল্যের জান্তব প্রোটিনের মতই পুষ্টির সম্ভাবনা থাকে। এজন্যই সম্পূর্ণ নিরামিষাশী ব্যক্তির পক্ষেও ডালরুটি, ইডলি-সম্বর, রুটি-আলুমটর, খিচুড়ি প্রভৃতি মিশ্র উদ্ভিজ্জ খাদ্যের দ্বারা জান্তব প্রোটিনের কাছাকাছি পুষ্টিলাভ করা সম্ভব।

প্রোটিনের পাচনাঙ্ক (digestibility coefficient) : প্রোটিনের পুষ্টিকারিতা তাহার সহজপাচ্যতার উপরেও নির্ভর করে। কোনও প্রোটিন নির্দিষ্ট পরিমাণে আহারের পরে তাহার শতকরা যত ভাগ অন্ত্র হইতে শোষিত হইয়া যায় তাহাকেই উক্ত প্রোটিনের পাচনাঙ্ক বলে। সাধারণতঃ অধিকাংশ উদ্ভিজ্জ প্রোটিনের তুলনায় জান্তব প্রোটিনগুলির পাচনাঙ্ক অধিক ; এজন্য

শেষোক্ত প্রোটিনগুলির অপেক্ষাকৃত কম অংশই পরিপাক বা শোষণের অভাবে অপচয় হয়।

সারণী 21.1. প্রাত্যহিক খাদ্যে ক্যালরি ও প্রধান জৈব উপাদানগুলির বাঞ্ছনীয় পরিমাণ।

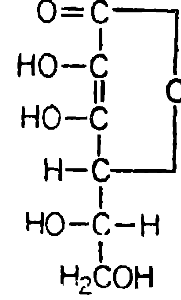
ব্যক্তি	কিলোক্যালরি	কার্বোহাইড্রেট গ্রাম	প্রোটিন গ্রাম	ফ্যাট গ্রাম
প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ (মধ্যম শ্রমী)	2800	470	55	78
প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ (কঠিন শ্রমী)	3980	650	55	130
প্রাপ্তবয়স্কা নারী (লঘু শ্রমী)	2000	330	45	56
প্রাপ্তবয়স্কা নারী (মধ্যম শ্রমী)	2200	370	45	60
গর্ভবতী নারী (মধ্যম শ্রমী)	2500	415	55	70
স্তনদাত্রী নারী (মধ্যম শ্রমী)	2700	430	65	80
বালক (5 বর্ষ)	1500	240	25	50

ক্যালরি ও প্রোটিনের পরিমাণ ভারতীয় চিকিৎসা গবেষণা পরিষদ (ICMR) এবং মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের জাতীয় বিজ্ঞান আকাদমির খাদ্য ও পুষ্টি পর্ষদের অনুমোদিত মাত্রার উপরে নির্ভর করিয়া প্রদত্ত।

21.9 পুষ্টি ও বিপাকে ভিটামিন

খাদ্যে কার্বোহাইড্রেট, ফ্যাট ও প্রোটিন ছাড়া অন্য কয়েকটি জৈব উপাদান স্বল্প পরিমাণে থাকা প্রয়োজন। শেষোক্ত বস্তুগুলি প্রধানতঃ কোএনজাইম রূপে বিভিন্ন বিক্রিয়ায় সাহায্য করে, কিন্তু দেহে প্রয়োজনের তুলনায় কম পরিমাণে সংশ্লেষিত হয় অথবা আদৌ সংশ্লেষিত হয় না। সেজন্য খাদ্যে ইহাদের অভাব ঘটিলে নানা প্রকার অপুষ্টি রোগ দেখা দেয়। এই বস্তুগুলিকেই ভিটামিন বলে। ইহারা দুইটি শ্রেণীতে বিভক্ত : জলদ্রাব্য (water-soluble) ভিটামিন, যথা ভিটামিন সি ও বি-বর্গীয় ভিটামিনগুলি এবং চর্বি-দ্রাব্য (fat-soluble) ভিটামিন, যথা ভিটামিন এ, ডি, ই এবং কে। প্রধান ভিটামিনগুলির প্রয়োজনীয় পরিমাণ 396 পৃষ্ঠায় সারণী 21.2-এ দ্রষ্টব্য।

1. অ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিড বা ভিটামিন সি : এই জলদ্রাব্য অম্লধর্মী ভিটামিনটি (চিত্র 21.1) কমলালেবু, পাতিলেবু, বাতাবিলেবু, আনারস, আঙ্গুর, আম, জাম, আমলকী প্রভৃতি টক ফলে, স্যালাড পাতায়, কাঁচা লঙ্কা ও পেয়ারায় যথেষ্ট পরিমাণে থাকে। সব্জির পাতলা খণ্ডে ও ফলের রসে অ্যাসকর্বেট অক্সিডেজের ক্রিয়ায় ভিটামিনটি অংশতঃ নষ্ট হইয়া যায়। রন্ধনকালে উত্তাপে ও জারণের ফলে অথবা সিদ্ধ করিবার জলে দ্রবীভূত হইয়া কিছু ভিটামিন সি-র অপচয় ঘটে।



চিত্র 21.1. ভিটামিন সি।

খাদ্যে অ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিডের অভাবে মানুষ, বনমানুষ, বানর, গিনিপিগ, ফলাহারী ভারতীয় বাদুড় প্রভৃতি কয়েকটি প্রাণীর স্কার্ভি (scurvy) রোগ হয়। অন্যান্য প্রাণীর দেহে গ্লুকোজ হইতে ভিটামিনটির সংশ্লেষণ ঘটে বলিয়া তাহাদের মধ্যে ঐ রোগের অস্তিত্ব নাই। স্কার্ভি রোগে অন্তরকোষ (intercellular) বস্তুর উৎপাদন ও সংরক্ষণ ব্যাহত হয়। ফলে অস্থিতে অস্টিঅয়েডের (osteoid) উৎপাদনে ব্যাঘাত ঘটিয়া অস্থি দুর্বল, কোমল ও ভঙ্গুর হইয়া পড়ে, দন্তে দন্তাস্থির (dentine) উৎপাদনে ব্যাঘাত ঘটিয়া দাঁত পড়িয়া যায়, মাড়ি ফুলিয়া রক্ত পড়ে, যোগকলায় (connective tissue) কোলাজেনের উৎপাদন ব্যাহত হওয়ায় ক্ষত নিরাময়ে বিলম্ব হয় এবং কৈশিক নালীর (capillary) ভঙ্গুরতা (fragility) বাড়িয়া সহজেই দেহের ভিতরে রক্তপাত ঘটে। অ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিড সেবনে স্কার্ভি নিরাময় হয়। দেহে এই ভিটামিনটির সম্ভাব্য ক্রিয়া নিম্নরূপ :

(*i*) অ্যাসকর্বিক অ্যাসিড মেসেন্‌কাইমা হইতে উদ্ভূত কলাগুলির অন্তর-কোষ (intercellular) বস্তুতে কোলাজেন নামক প্রোটিনের যথাযথ উৎপাদনের জন্য অপরিহার্য। অ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিড প্রোটোকোলাজেন প্রোলিন হাইড্রক্সিলেজ এনজাইমটির কোএনজাইম রূপে কাজ করে ; উক্ত এনজাইমের প্রভাবে অপরিণত প্রোটোকোলাজেন অণুতে আবদ্ধ প্রোলিন অণুগুলি অক্সিজেন-যোগে জারিত হইয়া হাইড্রক্সিপ্রোলিনে পরিণত হইলে প্রোটো-কোলাজেন সুপরিণত কোলাজেনে রূপান্তরিত হয়। স্কার্ভি রোগে প্রোটোকোলাজেন অপরিণত থাকিয়া গিয়া অন্তরকোষ বস্তুকে ভঙ্গুর ও দুর্বল করিয়া দেয়।

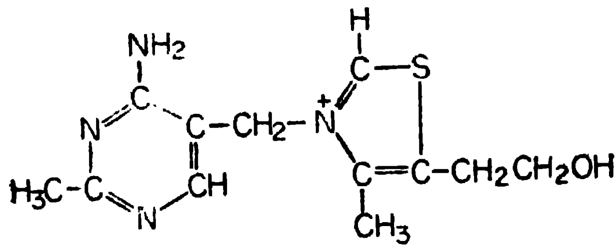
(*ii*) অ্যাসকর্বিক অ্যাসিড সম্ভবতঃ স্টেরয়েড হাইড্রক্সিলেজ এনজাইম-গুলির কোএনজাইম রূপে কাজ করে। এই এনজাইমগুলির ক্রিয়ার ফলেই

অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্সে কোলেস্টেরল পদে পদে জারিত হইয়া বিভিন্ন স্টেরয়েড হর্মোন উৎপাদন করে।

(*iii*) টাইরোসিনের বিপাকের জন্য প্রয়োজনীয় প্যারাহাইড্রক্সিফিনাইল-পাইরুভেট হাইড্রক্সিলেজ ও হোমোজেণ্টিসেট অক্সিডেজের কোএনজাইম রূপেও অ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিড অপরিহার্য। এজন্যই স্কার্ভি রোগে টাইরোসিনের অসমাপ্ত বিপাকজাত বস্তুগুলি মূত্রে বাহির হয়।

(*iv*) অ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিড হাইড্রোজেন দান করিয়া নানা বস্তুকে বিজারিত (reduced) করে এবং স্বয়ং জারিত হইয়া ডিহাইড্রোঅ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিডে পরিণত হয়; শেষোক্ত বস্তুটি অন্যান্য বস্তু হইতে হাইড্রোজেন গ্রহণ করিয়া তাহাদের জারিত করে এবং স্বয়ং বিজারিত হইয়া পুনরায় অ্যাসকর্বিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। অ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিডের এইরূপ বিজারক (reducing) গুণের প্রভাবেই পৌষ্টিক নালীতে খাদ্যের ফেরিক আয়ন বিজারিত হইয়া ফেরাস আয়নে পরিণত হয়, ফলে অন্ত্রে লৌহের শোষণ সুসাধ্য হয়।

2. থিয়ামিন বা ভিটামিন বি$_1$: এই বি-বর্গীয় জলদ্রাব্য ভিটামিনটি (চিত্র 21.2) ঈস্ট, যকৃত (মেটে), সয়াবিন, মটর, শিম, চীনাবাদাম, মাংস ও মুসুর ডালে এবং চাল ও গমের বহিঃস্তরে বর্তমান। কলে-ছাঁটা শাদা আতপ চালে ঐ বহিঃস্তরটি থাকে না, ফলে উহাতে থিয়ামিনের পরিমাণ যৎসামান্য। রাঁধিবার সময়ে উত্তাপে এবং খাদ্য ধোওয়া ও রাঁধার সময়ে জলে গুলিয়া কিছু থিয়ামিনের অপচয় ঘটে।



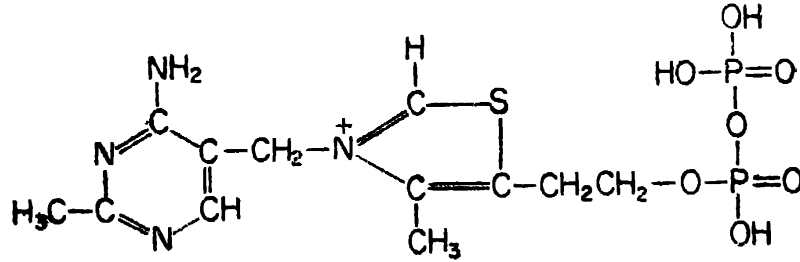
চিত্র 21.2. থিয়ামিন।

থিয়ামিনের অভাবে পায়রা, ইঁদুর প্রভৃতি প্রাণীর বিভিন্ন প্রান্তীয় নার্ভের প্রদাহ (peripheral polyneuritis) এবং পক্ষাঘাত দেখা দেয়, রক্তে পাইরুভেট ও পেণ্টোজ শর্করার মাত্রাধিক্য ঘটে, ক্ষুধা লোপ পায় এবং দেহের বৃদ্ধি বন্ধ হয়। থিয়ামিনের অভাবে মানুষের বেরিবেরি রোগ হয়। এই রোগে হাত, পা, চোখ প্রভৃতির নার্ভের প্রদাহ এবং পরিণামে তাহাদের বিনাশ ঘটিয়া খঞ্জত্ব, পক্ষাঘাত, অন্ধত্ব প্রভৃতি ঘটিতে পারে। রক্তে পাইরুভেটের

মাত্রাধিক্য, হাতপা, হৃৎপিণ্ড প্রভৃতিতে জল জমা (রসস্ফীতি, edema), হৃৎপিণ্ডের দক্ষিণভাগের স্ফীতি, হৃদ্‌রোগ, এমনকি হৃৎস্পন্দন বন্ধ হইয়া মৃত্যু পর্যন্ত ঘটিতে পারে। পাচনতন্ত্রে গ্রন্থির কর্মহানি ও পেশীর দৌর্বল্য ঘটিয়া পরিপাকশক্তি ও ক্ষুধা হ্রাস পায়। মস্তিষ্কে ক্ষত হইয়া মানসিক বৈকল্য ও বুদ্ধিভ্রংশ দেখা দিতে পারে।

দেহে থিয়ামিনের সম্ভাব্য ক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ :

(*i*) দেহে থিয়ামিন হইতে উৎপন্ন থিয়ামিন পাইরোফসফেট (TPP) (চিত্র 21.3) কার্বোহাইড্রেটের বায়ব (aerobic) বিপাকের দুইটি এনজাইম অর্থাৎ পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ ও অ্যালফা-কিটোগ্লুটারেট ডিহাইড্রোজেনেজের কোএনজাইম রূপে কাজ করে। সুতরাং থিয়ামিনের অভাবে



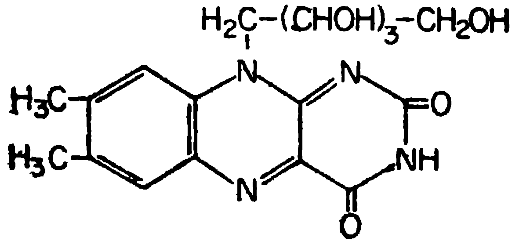
চিত্র 21.3. থিয়ামিন পাইরোফসফেট।

সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের মাধ্যমে পাইরুভেটের জারণ বন্ধ হইয়া কার্বোহাইড্রেটের বায়ব বিপাক অসম্পূর্ণ থাকে। এজন্যই বেরিবেরি রোগে রক্তে পাইরুভেট বাড়ে এবং কার্বোহাইড্রেট হইতে শক্তির উৎপাদন কমিয়া যাওয়ায় নার্ভতন্ত্র, হৃৎপেশী, পৌষ্টিক নালীগাত্রের অরেখ পেশী ও গ্রন্থি প্রভৃতির ক্রিয়া ব্যাহত হয় : ফলে নার্ভের প্রদাহ ও বিনাশ, মস্তিষ্কের ক্ষত, হৃদ্‌রোগ, ক্ষুধাহীনতা ও কোষ্ঠকাঠিন্য দেখা দেয়। আবার বেরিবেরি রোগীর হাতপা, হৃৎপিণ্ড প্রভৃতি কলায় জল জমার কারণও রক্ত এবং ঐ কলাগুলিতে পাইরুভেট ও ল্যাক্‌টেটের মাত্রাধিক্য ও রক্তবাহগুলির তজ্জনিত প্রসারণ (vasodilatation)।

(*ii*) থিয়ামিন পাইরোফসফেট পেন্টোজ ফসফেট পথের ট্রান্সকিটোলেজ এনজাইমটির কোএনজাইম রূপে কাজ করে। এজন্যই বেরিবেরি রোগে উক্ত পথের মাধ্যমে পেন্টোজ ফসফেটের ভাঙ্গন বন্ধ হইয়া রক্তে রাইবোজ, রাইবিউলোজ, জাইলিউলোজ প্রভৃতি পেন্টোজের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

3. **রাইবোফ্ল্যাভিন বা ভিটামিন বি$_2$:** এই জলদ্রাব্য কমলাবর্ণ বি-বর্গীয় ভিটামিনটি (চিত্র 21.4) যকৃত, ঈস্ট, অঙ্কুরিত মুগ ও ছোলা, দুধ,

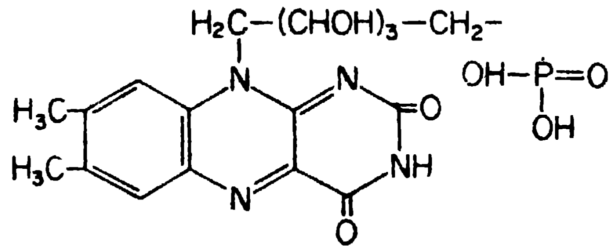
ডিম, চীনাবাদাম প্রভৃতি খাদ্যে থাকে। ভিটামিনটি উত্তাপে নষ্ট হয় না ; কিন্তু আলোকে, বিশেষতঃ অতিবেগনী আলোকে উহা নষ্ট হইয়া যায়, তাই বর্ণহীন স্বচ্ছ কাচের শিশিতে বি-ভিটামিনের বড়ি রাখা চলে না। রাইবোফ্ল্যাভিনের অভাবে চোখ ও ত্বকে জ্বালা, আঁশের মত চর্মরোগ, জিভে ঘা, ঠোঁটের ক্ষত, ঠোঁটের কোণে ফাটল ও প্রদাহ প্রভৃতি দেখা দেয়, অচ্ছোদপটলে (cornea) চারিপাশ হইতে রক্তবাহ বিস্তারলাভ করে এবং দৃষ্টি ব্যাহত হয়। দেহে ভিটামিনটির ক্রিয়া নিম্নরূপ :



চিত্র 21.4. রাইবোফ্ল্যাভিন।

(*i*) রাইবোফ্ল্যাভিন এক্টোডার্ম হইতে উদ্ভূত কলাগুলির স্বাভাবিকতা ও স্বাস্থ্য অক্ষুণ্ণ রাখে। এজন্যই ইহার অভাবে ত্বক, জিহ্বা, মুখবিবর প্রভৃতির প্রদাহ ও ক্ষত দেখা দেয়।

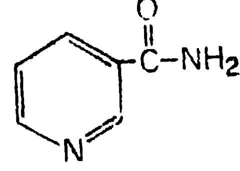
(*ii*) রাইবোফ্ল্যাভিন হইতে দেহে ফ্ল্যাভিন মোনোনিউক্লিওটাইড (FMN) এবং ফ্ল্যাভিন অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড (FADN) নামক দুইটি জারণ-সহায়ক কোএনজাইম উৎপন্ন হয় (চিত্র 21.5)। ইহারা ফ্ল্যাভোপ্রোটিন অক্সিডোরিডাক্টেজগুলির অণুতে প্রোটিনেতর (prosthetic) বর্গ রূপে থাকিয়া নানা বস্তুর জারণ ও বিজারণে সাহায্য করে। অ্যাসাইল-কো-এ ডিহাইড্রোজেনেজ, অ্যামাইনো অ্যাসিড অক্সিডেজ এবং জ্যান্থিন অক্সিডেজ এরূপ ফ্ল্যাভোপ্রোটিন এনজাইমের দৃষ্টান্ত।



চিত্র 21.5. ফ্ল্যাভিন মোনোনিউক্লিওটাইড।

4. নিকোটিনিক অ্যাসিড ও নিকোটিনঅ্যামাইড : নিকোটিনিক অ্যাসিড (নিয়াসিন) এবং নিকোটিনঅ্যামাইড (নিয়াসিনঅ্যামাইড), উভয় বস্তুই জলদ্রাব্য বি-বর্গীয় ভিটামিন। নিকোটিনঅ্যামাইডই (চিত্র 21.6) ভিটামিনটির সক্রিয় রূপ এবং সাধারণতঃ ইহার যৌগই জীবদেহে বর্তমান। যকৃত (মেটে), ঈস্ট, মাছমাংস, চীনাবাদাম ও ডালে ভিটামিনটি যথেষ্ট

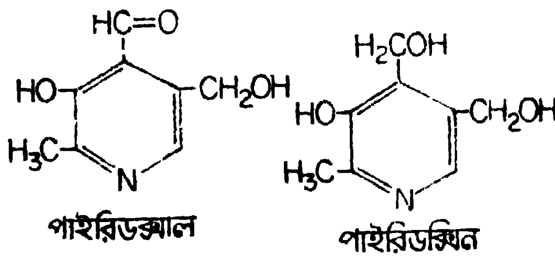
পরিমাণে থাকে। যকৃতে ট্রিপ্‌টোফ্যান হইতে কিছু পরিমাণে নিকোটিন-অ্যামাইড সংশ্লেষিত হয়। মিশর, দক্ষিণ ও পশ্চিম আফ্রিকা, অন্ধ্রপ্রদেশ, মধ্যপ্রদেশ, রাজস্থান ও গুজরাটে নিকোটিন-অ্যামাইডের অভাবজনিত **পেলাগ্রা** (pellagra) রোগের প্রকোপ দেখা যায়, কারণ এসকল অঞ্চলের দরিদ্র অধিবাসীদের প্রধান আহার্য ভুট্টা বা জোয়ারে নিকোটিনঅ্যামাইড ও ট্রিপ্‌টোফ্যানের অভাব আছে। পেলাগ্রা রোগে উদরাময়, জিভে ঘা, মস্তিষ্ক ও সুষুম্নাকাণ্ডে ক্ষত, উদ্বেগাকুলতা, উত্তেজনাপ্রবণতা, বুদ্ধিভ্রংশ (dementia), চর্মরোগ, যকৃতে চর্বি জমা প্রভৃতি লক্ষণ দেখা দেয়।



চিত্র 21.6. নিকোটিনঅ্যামাইড।

দেহে নিকোটিনঅ্যামাইড দুইটি জারণ-সহায়ক কোএনজাইম উৎপন্ন করে—নিকোটিনঅ্যামাইড অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড (এন-এ-ডি, NAD^+) এবং নিকোটিনঅ্যামাইড অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড ফসফেট (এন-এ-ডি-পি, $NADP^+$)। ইহারা বহু ডিহাইড্রোজেনেজের কোএনজাইম রূপে জারণ ও বিজারণে সাহায্য করে—এসকল ডিহাইড্রোজেনেজের প্রভাবে তাহাদের ক্রিয়াধীন বস্তুর (substrate) অণু হইতে ইলেকট্রন ও হাইড্রোজেন আয়ন এন-এ-ডি অথবা এন-এ-ডি-পি অণুতে স্থানান্তরিত হয়; ফলে ক্রিয়াধীন বস্তুটি জারিত হয় এবং কোএনজাইম অণুটি বিজারিত হইয়া যথাক্রমে এন-এ-ডি-এইচ (NADH) অথবা এন-এ-ডি-পি-এইচ (NADPH) উৎপন্ন হয়। আবার ইহার বিপরীত ক্রিয়ার ফলে ক্রিয়াধীন বস্তুর বিজারণ ঘটে। ল্যাক্‌টেট ডিহাইড্রোজেনেজ, গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজেনেজ, ম্যালিক এনজাইম, ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজ প্রভৃতি এনজাইম এভাবে নিকোটিন-অ্যামাইড-ঘটিত কোএনজাইমের সাহায্যে কাজ করে।

5 **পাইরিডক্সিন বা ভিটামিন বি$_6$** : এই জলদ্রাব্য বি-বর্গীয় ভিটামিনটি মুক্ত আকারে এবং পাইরিডক্সাল ফসফেট ও পাইরিডক্স্যামিন ফসফেট রূপে যকৃত, ঈস্ট, ডিমের কুসুম, গম, ভুট্টা প্রভৃতিতে থাকে (চিত্র 21.7)। আন্ত্রিক ব্যাকটেরিয়ার সাহায্যেও ভিটামিনটি কিছু পরিমাণে সংশ্লেষিত হয়। পাইরিডক্সাল ফসফেটকে ইহার সক্রিয় রূপ বলা চলে।



চিত্র 21.7. ভিটামিন বি$_6$ বা পাইরিডক্সিন এবং তাহার সক্রিয় রূপ পাইরিডক্সাল।

পাইরিডক্সিনের অভাবে শূকরের প্রান্তীয় (peripheral) নার্ভের মায়ালিন আচ্ছাদনী ক্ষতিগ্রস্ত হয় এবং অ্যানিমিয়া দেখা দেয়। ভিটামিনটির অভাবে ইঁদুরের মাথার উভয় পাশে ও সামনের দুই থাবায় অ্যাক্রোডিনিয়া (acrodynia) নামে চর্মরোগ হয়, হিমোগ্লোবিনের অভাব ঘটিয়া অ্যানিমিয়া দেখা দেয় এবং নার্ভতন্ত্রে ক্ষত হইয়া দেহে আক্ষেপ (convulsion) ঘটিতে পারে। ভিটামিনটির অভাবে মানবশিশুর মস্তিষ্কবিদ্যুল্লেখ বা ইলেক্ট্রোএন্‌কেফালোগ্রাফ অস্বাভাবিক হইয়া পড়ে: বমনেচ্ছা, বমন, চর্মরোগ, হিমোগ্লোবিনের স্বল্পতাজনিত অ্যানিমিয়া এবং মৃগীরোগের মত আক্ষেপ দেখা দেয়। দেহে ভিটামিনটির ক্রিয়া নিম্নরূপ :

(*i*) পাইরিডক্সাল ফসফেট বিভিন্ন ট্রান্সঅ্যামাইনেজ, গ্লুটামেট অ্যালফা-ডিকার্বক্সিলেজ, 5-হাইড্রক্সিট্রিপ্‌টোফ্যান ডিকার্বক্সিলেজ, কাইনিউরেনিনেজ, ডেল্টা-অ্যামাইনোলেভিউলিনেট সিন্‌থেটেজ প্রভৃতি এনজাইমের কোএনজাইম রূপে কাজ করে। এসকল এনজাইম অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির বিপাকে অনুঘটকের দায়িত্ব পালন করে; এজন্য পাইরিডক্সিন অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিপাকের জন্য অপরিহার্য এবং খাদ্যে প্রোটিনের পরিমাণ বাড়িলে পাইরিডক্সিনের প্রয়োজনীয়তাও বৃদ্ধি পায়। পাইরিডক্সাল ফসফেট ক্ষুদ্রান্ত্রের বিবর হইতে অ্যামাইনো অ্যাসিডের সক্রিয় শোষণেও সাহায্য করিয়া থাকে।

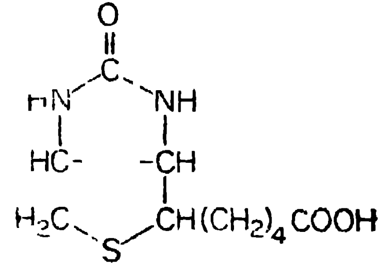
(*ii*) নার্ভের স্বাভাবিক উদ্দীপনা অব্যাহত রাখিতে পাইরিডক্সিনের প্রয়োজন। পাইরিডক্সাল ফসফেট গ্লুটামেট অ্যালফা-ডিকার্বক্সিলেজ ও 5-হাইড্রক্সিট্রিপ্‌টোফ্যান ডিকার্বক্সিলেজের কোএনজাইমরূপে কাজ করিয়া যথাক্রমে গামা-অ্যামাইনোবিউটিরেট এবং সেরোটোনিনের উৎপাদনে সাহায্য করে। এজন্য পাইরিডক্সিনের অভাবে ঐ দুই নার্ভ-নিয়ন্ত্রক বস্তুর উৎপাদনে ব্যাঘাত ঘটিয়া নার্ভের অস্বাভাবিক উদ্দীপনা, অঙ্গপ্রত্যঙ্গের আক্ষেপ (convulsion), নার্ভতন্ত্রে ক্ষত, ইলেক্ট্রোএন্‌কেফালোগ্রাফের অস্বাভাবিকতা প্রভৃতি দেখা দিতে পারে।

(*iii*) পাইরিডক্সাল ফসফেট ডেল্‌টা-অ্যামাইনোলেভিউলিনেট সিন্‌থেটেজের কোএনজাইমরূপে কাজ করিয়া ডেল্‌টা-অ্যামাইনোলেভিউলিনেট সংশ্লেষণে সাহায্য করে; শেষোক্ত বস্তুটিই পরিণামে হিমোগ্লোবিনের হিম (heme) অংশে পরিণত হয়। এজন্যই পাইরিডক্সিনের অভাবে হিমোগ্লোবিন সংশ্লেষণে ব্যাঘাত ঘটিয়া অ্যানিমিয়া হয়।

(*iv*) পাইরিডক্সিন মাইটোকন্‌ড্রিয়ায় লাইনোলেয়িক অ্যাসিড হইতে

অ্যারাকিডোনিক অ্যাসিড নামক অপরিহার্য (essential) ও বহু-অসংপৃক্ত (polyunsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিডটির সংশ্লেষণে সাহায্য করে। পাইরিডক্সিনের অভাবে ঐ অ্যাসিডটির সংশ্লেষণে ব্যাঘাত এবং ত্বকের নার্ভগুলির বিকার (degeneration) ঘটিয়া চর্মরোগ দেখা দেয়।

6. **বায়োটিন :** এই তাপসহ, আলোকসহ, জলদ্রাব্য, বর্ণহীন ও অম্লধর্মী বি-বর্গীয় ভিটামিনটি (চিত্র 21.8) ডিমের কুসুম, যকৃত (মেটে), ঈস্ট, দুধ, গুড়, টোম্যাটো প্রভৃতি খাদ্যে থাকে, অন্ত্রে ব্যাকটেরিয়ার সাহায্যেও সংশ্লেষিত হয়।



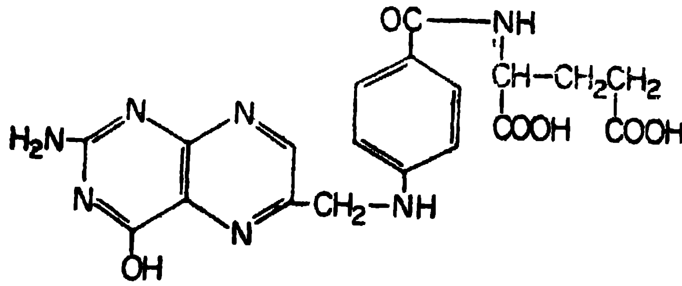
চিত্র 21.8. বায়োটিন।

কাঁচা ডিমের শাদা অংশের অ্যাভিডিন নামক গ্লাইকোপ্রোটিনটি খাদ্যের বায়োটিনের সহিত যুক্ত হইয়া তাহার শোষণ বন্ধ করিয়া দেয়, ফলে দেহে বায়োটিনের অভাব সৃষ্ট হয়। এজন্যই মানুষ, ইঁদুর, মুরগি প্রভৃতি প্রাণীকে কাঁচা ডিমের শাদা অংশ খাওয়াইয়া রাখিলে দেহে বায়োটিনের অভাবজনিত রোগলক্ষণ দেখা দেয়—ইঁদুরের চর্মরোগ, লোমহীনতা, পৌষ্টিক নালীতে ক্ষত, পেশীসঞ্চালনে ব্যাঘাত ও পক্ষাঘাত, মানুষের চর্মরোগ, ক্ষুধাহীনতা, পেশীর বেদনা এবং অঙ্গাদি সঞ্চালনে ব্যাঘাত প্রভৃতি লক্ষণ বায়োটিনের এরূপ অভাবের ফলে উৎপন্ন হয়।

দেহে বায়োটিন প্রধানতঃ এটিপি-নির্ভর কার্বক্সিলেজ এনজাইমগুলির কোএনজাইম রূপে কাজ করিয়া নানা বস্তুর অণুতে কার্বন ডাই-অক্সাইড সংযোজনে (carboxylation) সাহায্য করে। এভাবে বায়োটিন অ্যাসেটাইল-কো-এ কার্বক্সিলেজ, পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, প্রোপায়োনিল-কো-এ কার্বক্সিলেজ প্রভৃতি এনজাইমের কোএনজাইম রূপে কাজ করে। প্রথমে কার্বন ডাই-অক্সাইড এটিপি হইতে ফসফেট বর্গ লাভ করিয়া কার্বনিক-ফসফোরিক অ্যান্‌হাইড্রাইডে পরিণত হয় : শেষোক্ত অণু হইতে কার্বন ডাই-অক্সাইড অংশ কার্বক্সিলেজ অণুতে আবদ্ধ বায়োটিনে যুক্ত হইয়া কার্বক্সিবায়োটিন বা 'সক্রিয়' কার্বন ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন করে ; অতঃপর শেষোক্ত অণু হইতে কার্বন ডাই-অক্সাইড অংশ অন্য বস্তুর অণুতে স্থানান্তরিত হয়। যথা, অ্যাসেটাইল-কো-এ কার্বক্সিলেজ, এটিপি ও বায়োটিনের সাহায্যে অ্যাসেটাইল-কো-এ অণুতে কার্বন ডাই-অক্সাইড যুক্ত হইলে ম্যালোনিল-কো-এ উৎপন্ন হয় (চিত্র 18.32)।

এভাবে কাজ করিয়া বায়োটিন বৃহদণু (higher) ফ্যাটি অ্যাসিড, পিউরিন, অক্সালোঅ্যাসিটেট প্রভৃতির সংশ্লেষণে সাহায্য করে।

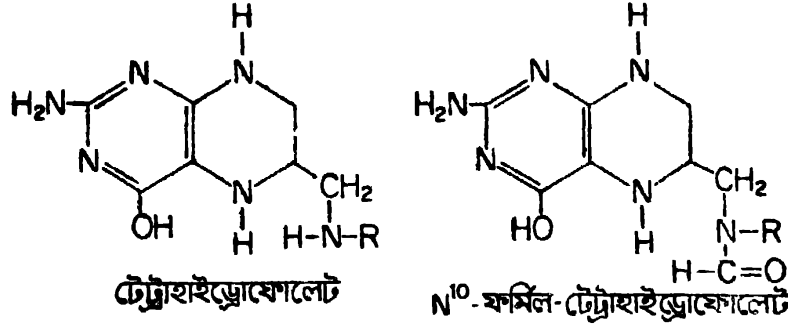
7. **ফোলিক অ্যাসিড বা ফোলাসিন :** এই বি-বর্গীয়, জলদ্রাব্য, পীতবর্ণ ভিটামিনটি টেরয়িলগ্লুটামিক অ্যাসিড নামে পরিচিত (চিত্র 21.9) ; অবশ্য টেরয়িলট্রাইগ্লুটামিক অ্যাসিড, টেরয়িলহেপ্টাগ্লুটামিক অ্যাসিড প্রভৃতি বস্তুও এই ভিটামিন গোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত। ফোলিক অ্যাসিড গোষ্ঠীর ভিটামিনগুলি যকৃত (মেটে), ঈস্ট, ফুলকপি, শাকপাতা প্রভৃতি খাদ্যে যথেষ্ট পরিমাণে থাকে এবং অন্ত্রে ব্যাকটেরিয়ার দ্বারাও সংশ্লেষিত হয়। ফোলিক অ্যাসিড গোষ্ঠীর ভিটামিনগুলির অভাবে রক্তে শ্বেত রক্তকণিকার সংখ্যাল্পতা ঘটে, স্বাভাবিক লোহিত রক্তকণিকার পরিবর্তে রক্তে নিউক্লিয়াসযুক্ত ও বৃহৎ ম্যাক্রোসাইট এবং নিউক্লিয়াসযুক্ত, ক্ষারধর্মী (basophilic) ও অতিকায় মেগালোব্লাস্ট নামক দুইপ্রকার অপরিণত ও অস্বাভাবিক লোহিত কণিকার আবির্ভাব হয়, মূত্রে ফর্মিমিনোগ্লুটামেট ও ফর্মেটের পরিমাণ বাড়ে, দেহে ডি.এন.এ. সংশ্লেষণ কমে এবং আন্ত্রিক ক্ষত ও উদরাময় ঘটিতে পারে। ফোলিক অ্যাসিড সেবনে এসকল লক্ষণ এবং স্প্রু ও পার্নিশিয়াস অ্যানিমিয়া রোগের রক্তাল্পতা নিরাময় হয়। অন্যদিকে লিউকিমিয়া রোগে অ্যামাইনোপ্টেরিন নামক ফোলাসিন-বিরোধী বস্তু (folacin antagonist) সেবনে শ্বেত রক্তকণিকার সংখ্যা সাময়িকভাবে কমানো যায়।



চিত্র 21.9. ফোলিক অ্যাসিড বা টেরয়িলগ্লুটামিক অ্যাসিড।

দেহে ফোলিক অ্যাসিড বিজারণের (reduction) মাধ্যমে 5,6,7,8-টেট্রাহাইড্রোফোলেট নামক যৌগে পরিণত হয় (চিত্র 21.10)। ইহাই ভিটামিনটির সক্রিয় রূপ। ফর্মিক অ্যাসিড, সেরিন, ফর্মিমিনোগ্লুটামেট প্রভৃতি নানা বস্তুর অণু হইতে ফর্মিল, মেথিলিন, মেথেনিল, মিথাইল প্রভৃতি এক-কার্বন বর্গ উপযুক্ত এনজাইমের সাহায্যে টেট্রাহাইড্রোফোলেট অণুতে স্থানান্তরিত হইলে এন্^{5}-ফর্মিলটেট্রাহাইড্রোফোলেট, এন্^{10}-ফর্মিলটেট্রাহাইড্রোফোলেট (চিত্র 21.10), এন্-^{5}মিথাইলটেট্রাহাইড্রোফোলেট, এন্^{5}-ফর্মিমিনোটেট্রাহাইড্রোফোলেট, এন্^{5},এন্^{10}-মেথিলিনটেট্রাহাইড্রোফোলেট,

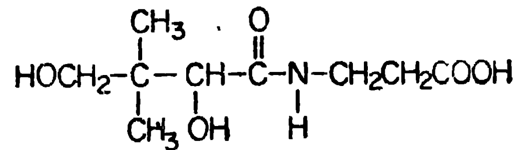
এন্^{5},এন্^{10}-মেথোনিলটেট্রাহাইড্রোফোলেট প্রভৃতি যৌগ উৎপন্ন হয়। যথাযথ এনজাইমের সাহায্যে ঐ সকল যৌগ হইতে এক-কার্বন (C_1)



চিত্র 21.10. ফোলিক অ্যাসিডের সক্রিয় রূপ।

বর্গগুলি অন্যান্য বস্তুর অণুতে স্থানান্তরিত হইতে পারে। এককথায়, টেট্রাহাইড্রোফোলেট এক-কার্বন বর্গগুলির স্থানান্তরণ ও বিপাকে কোএনজাইম রূপে কাজ করে। এরূপ ক্রিয়ার ফলেই ফোলিক অ্যাসিড থাইমিন নামক পিরিমিডিন, অ্যাডেনিন ও গুয়ানিন নামক পিউরিন, মেথিওনিন ও গ্লাইসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রভৃতির সংশ্লেষণে সাহায্য করে। থাইমিন ও পিউরিনগুলি ডি.এন.এ. অণুর অপরিহার্য অংশ বলিয়াই ফোলিক অ্যাসিড ডি.এন.এ. সংশ্লেষণের জন্যও অপরিহার্য ; ইহার অভাবে বিকাশমান রক্ত-কণিকায় ডি.এন.এ. সংশ্লেষণ ব্যাহত হওয়ার ফলেই লোহিত ও শ্বেত রক্তকণিকার উৎপাদন ও বিকাশ বিপর্যস্ত হইয়া রক্তে অপরিণত, বৃহৎ ও নিউক্লিয়াসযুক্ত ম্যাক্রোসাইট ও মেগালোব্লাস্ট নামক অস্বাভাবিক লোহিত কণিকাগুলি দেখা দেয় এবং শ্বেত কণিকার সংখ্যাল্পতা ঘটে। এজন্য ভিটামিনটি রক্তকণিকা উৎপাদনে অপরিহার্য।

8. **প্যান্টোথেনিক অ্যাসিড :** এই পীতাভ, জলদ্রাব্য তৈলের মত ভিটামিনটিও (চিত্র 21.11) বি-বর্গের অন্তর্গত। যকৃত, ঈস্ট, ডিমের কুসুম, বৃক্ক, রাঙ্গা আলু, গুড়, মাখন-তোলা দুধ প্রভৃতি খাদ্যে ইহা বর্তমান। অন্ত্রে ব্যাকটেরিয়ার দ্বারাও ইহার সংশ্লেষণ ঘটে।



চিত্র 21.11. প্যান্টোথেনিক অ্যাসিড।

এই ভিটামিনটির অভাবে ইঁদুরের বৃদ্ধি কমিয়া যায়, গোঁফ লাল হইয়া যায়, অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্স ক্ষতিগ্রস্ত হয়, দেহে কোলেস্টেরলের সংশ্লেষণ কমিয়া যাওয়ায় অ্যাড্রেন্যাল কর্টেক্স,

ডিম্বাশয়, শুক্রাশয় প্রভৃতি হইতে স্টেরয়েড-বর্গীয় হর্মোনগুলির ক্ষরণ হ্রাস পায়, সন্তানধারণে ব্যাঘাত ঘটে, হিমোগ্লোবিনের উৎপাদন কমিয়া যাওয়ায় অ্যানিমিয়া দেখা দেয় এবং কালো ইঁদুরের লোম শাদা হইয়া যায়। এই ভিটামিনের অভাবে মুরগির চর্মরোগ, যকৃতে চর্বি জমা এবং জননশক্তির বিপর্যয় দেখা দেয়। দেহে প্যান্টোথেনিক অ্যাসিডের ক্রিয়া নিম্নরূপ :

(i) প্যান্টোথেনিক অ্যাসিড হইতে দেহে কোএনজাইম এ (coenzyme A) নামক যৌগ উৎপন্ন হয় ; উহা উপযুক্ত এনজাইমের সাহায্যে অ্যাসেটাইল বর্গ ও অন্যান্য ফ্যাটি অ্যাসিড বর্গের (অ্যাসাইল বর্গ) সহিত যুক্ত হইয়া যথাক্রমে অ্যাসেটাইল-কো-এ ও অন্যান্য অ্যাসাইল-কো-এ উৎপন্ন করে। ঐ সকল যৌগ হইতে অ্যাসেটাইল ও অন্যান্য অ্যাসাইল বর্গগুলি উপযুক্ত এনজাইমের সাহায্যে নানা বস্তুর অণুতে স্থানান্তরিত হয় ; তাহা ছাড়া ঐরূপ কোএনজাইম এ-ঘটিত যৌগের আকারেই অ্যাসেটিক ও অন্যান্য ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ ও বিপাক ঘটে। এককথায়, প্যান্টোথেনেট হইতে উদ্ভূত কোএনজাইম এ অ্যাসাইল বর্গ ও ফ্যাটি অ্যাসিডের স্থানান্তরণ ও বিপাকের জন্য অপরিহার্য। দৃষ্টান্তস্বরূপ, সাক্সিনিল-কো-এ অণুর সাক্সিনিল বর্গ হিমোগ্লোবিনের হিম (heme) অংশের সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়, সেজন্যই প্যান্টোথেনেটের অভাবে হিমোগ্লোবিনের উৎপাদন ব্যাহত হইয়া অ্যানিমিয়া হয় ; অ্যাসেটাইল কো-এ অণুর অ্যাসেটাইল বর্গ দেহে কোলেস্টেরল সংশ্লেষণে প্রযুক্ত হয়, সেজন্যই প্যান্টোথেনেটের অভাবে দেহে কোলেস্টেরল ও স্টেরয়েড-বর্গীয় হর্মোনগুলির সংশ্লেষণ হ্রাস পায় ; কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাটি অ্যাসিডের আংশিক বিপাকের ফলে উৎপন্ন অ্যাসেটাইল-কো-এ কোএনজাইম এ অণুর সাহায্যেই ক্রেব্‌স্-চক্রের মাধ্যমে জারিত হয়।

(ii) কোনও কোনও জীবের দেহে ফ্যাটি অ্যাসিডের সংশ্লেষণের সময়ে **অ্যাসাইল-বাহক প্রোটিন বা এসিপি** (acyl-carrier protein or ACP) নামক একটি প্রোটিন-যৌগ কোএনজাইম রূপে অ্যাসেটাইল, ম্যালোনিল, পামিটিল প্রভৃতি ফ্যাটি অ্যাসিড বর্গের উৎপাদন ও ব্যবহারে সাহায্য করে ; প্যান্টোথেনেট হইতে উৎপন্ন ফসফোপ্যান্টেথেইন ঐ এসিপি অণুর অপরিহার্য অংশ।

9. কোবাল্যামিন বা ভিটামিন বি$_{12}$: জলদ্রাব্য কোবাল্যামিন, সিয়ানোকোবাল্যামিন, হাইড্রক্সিকোবাল্যামিন, নাইট্রোকোবাল্যামিন প্রভৃতি কোবাল্ট-ঘটিত কোরিন (corrin) যৌগ ভিটামিন বি$_{12}$ গোষ্ঠীর অন্তর্গত।

ইহারা যকৃত, মাংস, ডিম, বৃক্ক, মাছ, দুধ, পনির প্রভৃতি জান্তব প্রোটিন খাদ্যে থাকে এবং অন্ত্রে ব্যাকটেরিয়ার সাহায্যেও সংশ্লেষিত হয়। পাকস্থলী-রসে ক্ষরিত ক্যাল্স্‌-বর্ণিত আভ্যন্তরীণ উপাদানের (Castle's intrinsic factor) ক্রিয়ায় পৌষ্টিক নালী হইতে ভিটামিন বি$_{12}$ শোষিত হয়। পাকস্থলী-রসে উক্ত উপাদানের অভাব থাকিলে ভিটামিন বি$_{12}$ শোষণে ব্যাঘাত ঘটিয়া পার্নিশিয়াস অ্যানিমিয়া রোগ হয়। এই রোগে লোহিত রক্তকণিকাগুলি অপরিণত, নিউক্লিয়াস-যুক্ত এবং অস্বাভাবিক বৃহদায়তন থাকিয়া গিয়া অতিকায় ও ক্ষারধর্মী মেগালোব্লাস্ট কোষে পরিণত হয়; এজাতীয় অ্যানিমিয়াকে মেগালোব্লাস্টিক অ্যানিমিয়া বলে। তাহা ছাড়া এই রোগে নার্ভতন্ত্রেও ক্ষত (lesion) দেখা দেয়—সুষুম্নাকাণ্ডে নার্ভতন্তুগুলির মায়ালিন আচ্ছাদনী নষ্ট হইয়া গিয়া বিভিন্ন প্রান্তীয় অঙ্গ ও কলায় অনুভূতি হ্রাস বা লোপ পায়। বি$_{12}$ ইন্‌জেক্‌শন দিলে রোগের উপশম ঘটে। কোবাল্যামিনগুলি হইতে দেহে কয়েকটি কোব্যামাইড কোএনজাইম সংশ্লেষিত হয়, যথা 5,6-ডাইমিথাইলবেন্‌জ্‌ইমিডাজোল কোব্যামাইড। ভিটামিন বি$_{12}$ দেহে নিম্নলিখিত পদ্ধতিতে কাজ করে :

(*i*) কিছু ব্যাকটেরিয়া এবং ইউগ্লেনার দেহে রাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেট রিডাক্‌টেজের কোএনজাইম রূপে কাজ করিয়া বি$_{12}$ বিভিন্ন রাইবোনিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেটকে বিজারিত করিয়া ডিঅক্সিরাইবো-নিউক্লিওসাইড ট্রাইফসফেটে পরিণত করে।

(*ii*) সম্ভবতঃ একটি কোব্যামাইড কোএনজাইমের সাহায্যে ডিঅক্সি-ইউরিডাইলিক অ্যাসিডের ইউরাসিল অংশে মিথাইল বর্গ যুক্ত হইয়া উক্ত অংশটি থাইমিনে পরিণত হয়, ফলে ডিঅক্সিইউরিডাইলিক অ্যাসিড ডিঅক্সিথাইমিডাইলিক অ্যাসিডে পরিবর্তিত হয়—শেষোক্ত বস্তুটি ডি.এন.এ. সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।

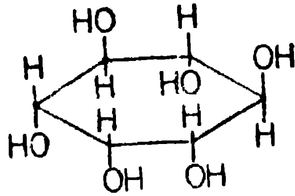
(*iii*) ডিঅক্সিথাইমিডাইলেট উৎপাদনের কোএনজাইম রূপে কাজ করিয়া ভিটামিন বি$_{12}$ মানবদেহে ডি.এন.এ. সংশ্লেষণে সাহায্য করে বলিয়া লোহিত রক্তকণিকার যথাযথ বিকাশ ও সুপরিণতির জন্য ভিটামিনটি অপরিহার্য। এজন্যই ইহার অভাবে লোহিত রক্তকণিকাগুলি অপরিণত থাকিয়া গিয়া পার্নিশিয়াস অ্যানিমিয়া হয়।

(*iv*) কোব্যামাইড কোএনজাইমগুলি সম্ভবতঃ মিথাইল বর্গের উৎপাদন ও বিভিন্ন অণুতে তাহার সংযোজনে সাহায্য করে।

(*v*) ভ্যালিন ও প্রোপায়োনিক অ্যাসিডের আংশিক বিপাকজাত মিথাইলম্যালোনিল-কো-এ হইতে সাক্সিনিল-কো-এ উৎপাদনের কার্যে মিথাইলম্যালোনিল-কো-এ মিউটেজের কোএনজাইম রূপেও কোব্যামাইড সাহায্য করে।

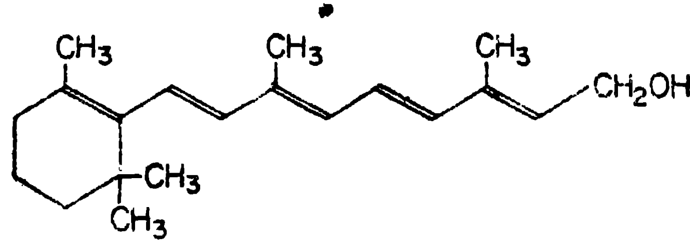
(*vi*) বিভিন্ন জীবে গ্লুটামেট মিউটেজ, গ্লিসেরল ডিহাইড্রেজ, ইথানল-অ্যামাইন ডিঅ্যামাইনেজ, ডাইওল ডিহাইড্রেজ প্রভৃতি এনজাইমের কার্যেও কোব্যামাইড কোএনজাইম অপরিহার্য।

10. আইনোসিটল : এই জলদ্রাব্য, শুভ্র বি-বর্গীয় ভিটামিনটি (চিত্র 21.12) ঈস্ট, যকৃত, সয়াবিন, মস্তিষ্ক, গম প্রভৃতিতে বর্তমান। ইঁদুরের খাদ্যে আইনোসিটলের অভাব ঘটিলে যকৃতে চর্বি জমে এবং চোখের চারিদিকে লোম খসিয়া যায়। আইনোসিটল মস্তিষ্ক, হৃৎপেশী, বৃক্ক, যকৃত প্রভৃতি কলায় ফসফাটিডিলআইনোসিটল নামক একপ্রকার কেফালিন-বর্গীয় ফসফোলিপিডের অণুতে বর্তমান। যকৃতে আইনোসিটলের সাহায্যে ফ্যাটি অ্যাসিড হইতে ফসফোলিপিড উৎপন্ন হয় বলিয়া এই ভিটামিনটি যকৃত হইতে ফ্যাটের অন্যত্র সঞ্চালন ও অপসারণ বাড়ায় এবং যকৃতে চর্বি জমিতে দেয় না ; অর্থাৎ আইনোসিটল অন্যতম চর্বিসঞ্চালক উপাদান (lipotropic factor)।



চিত্র 21.12. আইনোসিটল

11. রেটিনল বা ভিটামিন এ : মাছ, হাঙ্গর প্রভৃতির যকৃত ও যকৃতের তৈল, চর্বি, দুধ, পনির, মাখন, ডিম প্রভৃতিতে চর্বিদ্রাব্য ও পীতবর্ণ ভিটামিন $এ_1$ (রেটিনল$_1$) এবং ভিটামিন $এ_2$ (রেটিনল$_2$) থাকে। মানুষের

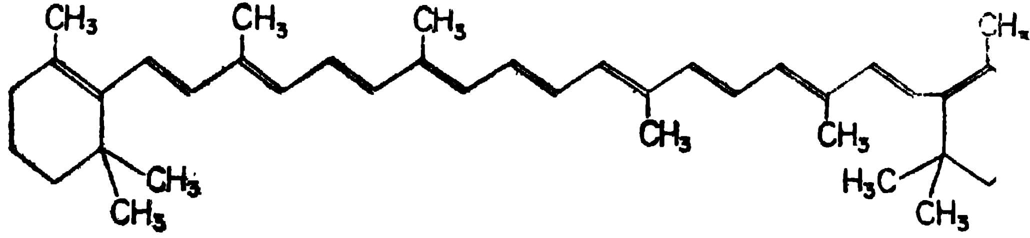


চিত্র 21.13. ভিটামিন $এ_1$ বা রেটিনল$_1$।

যকৃতে ও গোমহিষের আন্ত্রিক শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে ক্যারোটিন-বর্গীয় পীতবর্ণ রঙ্গকগুলি (pigments) হইতে রেটিনলের সংশ্লেষণও ঘটিয়া থাকে। গাজর,

ভুট্টা, পীচ, পাকা আম, রাঙ্গা আলু প্রভৃতি পীতবর্ণ ফল ও সব্জিতে ক্যারোটিন বর্তমান। ক্যারোটিনগুলি হাইড্রোকার্বন-জাতীয় বস্তু (চিত্র 21.14)।

খাদ্যে ভিটামিন এ এবং ক্যারোটিনের অভাব ঘটিলে অন্ধকারে বা স্বল্প আলোকে দেখিবার শক্তি লোপ পায়, ফলে রাত্র্যন্ধতা (night-blindness) জন্মায়। তাহা ছাড়া ত্বক, অচ্ছোদপটল (cornea), বৃক্কের টিবিউল, শুক্রাশয় (testis), ডিম্বাশয় (ovary) প্রভৃতি স্থানের স্বাভাবিক জীবন্ত আবরক কলা নষ্ট



চিত্র 21.14. বিটা-ক্যারোটিন।

হইয়া গিয়া শুষ্ক, স্তরিত (stratified) ও কেরাটিনযুক্ত আবরক কলার সৃষ্টি হয়, ফলে ঐসকল অঙ্গের স্বাভাবিক ক্রিয়া বিপর্যস্ত হয়। অচ্ছোদপটলে স্তরিত কেরাটিনযুক্ত আবরক কলার সৃষ্টি হওয়ায় (xerosis) অচ্ছোদপটল শুষ্ক ও অনুজ্জ্বল হইয়া যায় এবং অচিরে কোমল হইয়া (keratomalacia) অচ্ছোদ-পটলে ক্ষত (ulcer) উৎপন্ন হয় ; পরিণামে অচ্ছোদপটল গলিয়া গিয়া অন্ধত্ব ঘটে। চোখে ভিটামিন এ-র অভাবজনিত রোগকে এক কথায় জেরপ্-থ্যাল্মিয়া (xerophthalmia) বলে। দেহে রেটিনলের সম্ভাব্য ক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ :

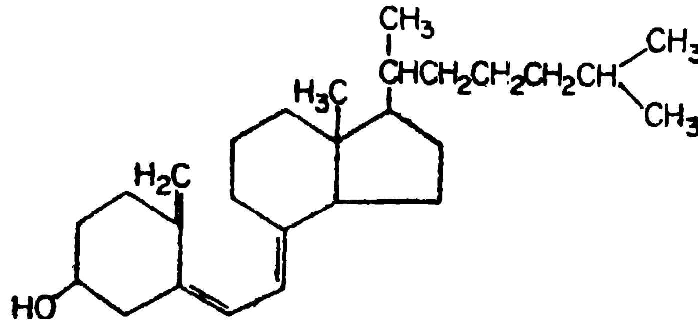
(*i*) রেটিনলের জারণের ফলে উৎপন্ন রেটিন্যাল (রেটিনিন) এবং ভিন্ন ভিন্ন অপসিন-বর্গীয় (opsin) প্রোটিনের মিলনে অক্ষিপটের (retina) দণ্ড (rod) ও শঙ্কু (cone) নামক কোষগুলির মধ্যে রডপ্সিন ও আয়োডপ্সিন নামক রঙ্গকগুলি সংশ্লেষিত হইয়া সঞ্চিত থাকে। অক্ষিপটে আলোক পড়িলে ঐ কোষগুলির মধ্যে এসকল রঙ্গকের ভাঙ্গন ঘটিয়া অপ্সিন ও রেটিনিন উৎপন্ন হয় ; ইহার ফলে দণ্ড ও শঙ্কু কোষগুলির উদ্দীপনা ঘটিয়া যথাক্রমে ক্ষীণ ও উজ্জ্বল আলোকে দেখা সম্ভব হয়। অন্ধকারে আবার ঐ রঙ্গকগুলি রেটিনলের সাহায্যে সংশ্লেষিত হইয়া সঞ্চিত থাকে। রেটিনলের অভাবে দণ্ড কোষগুলিতে রডপ্সিনের অভাব ঘটিয়া তাহাদের ক্রিয়া ব্যাহত হয়, ফলে স্তিমিত আলোকে দৃষ্টিশক্তি কমিয়া গিয়া রাত্র্যন্ধতা ঘটে।

(*ii*) রেটিনল সম্ভবতঃ নানা কলার ধাত্রে (matrix) মিউকোপলি-

স্যাকারাইডের অণুতে গন্ধক যোগ করিতে সাহায্য করে। সেজন্য ইহার অভাবে কলাগুলির ধাত্র অপরিণত ও অস্বাভাবিক হইয়া যায়।

(*iii*) রেটিনল দেহের আবরক কলাকে স্বাভাবিক ও সজীব রাখিতে সাহায্য করে।

12. **ক্যাল্‌সিফেরল বা ভিটামিন ডি :** ডি-বর্গীয় ভিটামিনগুলি (**চিত্র** 21.15) চর্বিদ্রাব্য স্টেরয়েড-প্রসূত যৌগ। মাছের তেল ও যকৃত, মৎস্যাহারী প্রাণীর যকৃত, তৈলাক্ত মাছের মাংস, কড ও হাঙ্গরের যকৃতের তৈল প্রভৃতিতে ভিটামিন ডি$_3$ বা কোলেক্যাল্‌সিফেরল বর্তমান। তাহা ছাড়া ত্বকে অতিবেগনী রশ্মির প্রভাবে 7-ডিহাইড্রোকোলেস্টেরল হইতে যথেষ্ট ডি$_3$ সংশ্লেষিত হয়।



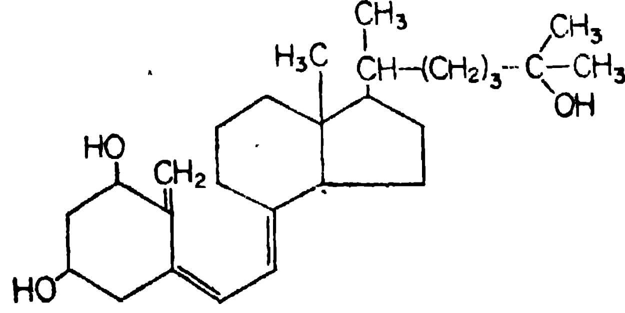
চিত্র 21.15. ভিটামিন ডি$_3$ বা কোলেক্যাল্‌সিফেরল।

ভিটামিন ডি-এর অভাবে শৈশব ও বাল্যে রিকেট্‌স্‌ এবং বয়ঃপ্রাপ্তির পরে অস্টিওম্যালাশিয়া রোগ হয়। **রিকেট্‌স্‌** রোগে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের বিপাক, অন্ত্র হইতে উহাদের শোষণ এবং অস্থি ও দন্তে উহাদের **অবক্ষেপণ** (deposition) ব্যাহত হয়; ফলে অস্থির বৃদ্ধি হ্রাস পায়, অস্থিতে খনিজের (mineral) মাত্রাল্পতা ঘটে, হাতপায়ের অস্থিগুলি শীর্ণ, দেহভারে বক্র ও ভঙ্গুর হইয়া পড়ে, দন্তোদগমে বিলম্ব ঘটে। উত্তর ভারতের নানা রাজ্যে পর্দানসীন ও বহুপ্রসবিনী নারীদের মধ্যে **অস্টিওম্যালাশিয়া** দেখিতে পাওয়া যায়; এক্ষেত্রেও রিকেট্‌সের মতই অস্থিতে খনিজের মাত্রাল্পতা ঘটিয়া অস্থিগুলি শীর্ণ, বক্র ও ভঙ্গুর হইয়া পড়ে।

খাদ্যের কোলেক্যাল্‌সিফেরল ক্ষুদ্রান্ত্র হইতে পিত্তলবণের (bile salts) সাহায্যে শোষিত হয়। যকৃতে কোলেক্যাল্‌সিফেরল হইতে 25-হাইড্রক্সিকোলে-ক্যাল্‌সিফেরল এবং বৃক্কে তাহা হইতে 1,25-ডাইহাইড্রক্সিকোলেক্যালসিফেরল (1,25-$[OH]_2$-D_3) সংশ্লেষিত হয়। শেষোক্ত বস্তুটিই ডি$_3$-র মুখ্য সক্রিয় যৌগ এবং অনেকে ইহাকে দেহের অন্যতম হর্মোনরূপে বিবেচনা করেন

(চিত্র 21.16) ; সেই হিসাবে কোলেক্যাল্‌সিফেরলকে প্রোহর্মোন (prohormone) বলা চলে। দেহে ডি-বর্গীয় ভিটামিনের ক্রিয়া নিম্নরূপ :

(*i*) $1,25\text{-}[OH]_2\text{-}D_3$ বৃক্ক হইতে রক্তের প্রবাহে ক্ষুদ্রান্ত্রের শ্লৈষ্মিক ঝিল্লীতে পৌঁছিয়া সেখানের আবরক কোষগুলিতে ক্যালসিয়াম-ধারক (calcium binding) প্রোটিনের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া দেয় এবং ঐ প্রোটিনের সাহায্যে অন্ত্র হইতে খাদ্যের ক্যালসিয়ামের শোষণ বৃদ্ধি পায়। রিকেট্‌স্‌ রোগে ঐ প্রোটিনটির সংশ্লেষণ ব্যাহত হইয়া ক্যালসিয়ামের শোষণ হ্রাস পায়, ফলে মলে ক্যালসিয়াম ও ফসফেটের পরিমাণ বাড়ে।



চিত্র 21.16. 1,25-ডাইহাইড্রক্সিকোলেক্যাল্‌সিফেরল।

(*ii*) $1,25\text{-}[OH]_2\text{-}D_3$ অস্থিগ্রাসী (osteoclast) কোষগুলিতে ক্যালসিয়াম-ধারক প্রোটিনের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া অস্থি হইতে ক্যালসিয়ামের অপসারণ বৃদ্ধি করে : ইহার ফলে অস্থি হইতে অধিকতর খনিজ আয়ন রক্তে আসিয়া সেখানে ক্যালসিয়াম ও ফসফেটের পরিমাণ বাড়ায়।

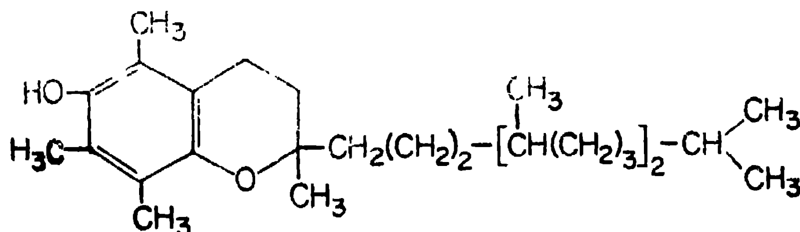
(*iii*) ভিটামিন ডি অস্থি ও দন্তের ধাত্রে মিউকোপলিস্যাকারাইড অণুতে গন্ধক যোগ করিতে সাহায্য করিয়া পরোক্ষে ঐসকল কলার ধাত্রে ক্যালসিয়াম ও ফসফেটের অবক্ষেপণ (deposition) সুসাধ্য করে। ফলে অস্থিগুলি সুগঠিত ও সবল হয়।

(*iv*) বৃক্কের টিবিউল কোষগুলিতে ক্যালসিয়াম-ধারক প্রোটিনের সংশ্লেষণ বাড়াইয়া $1,25\text{-}[OH]_2\text{-}D_3$ মূত্র হইতে ক্যালসিয়াম ও ফসফেটের শোষণ বর্ধিত করে, ফলে মূত্রে ঐ দুই আয়নের রেচন কমে।

13 টোকোফেরল বা ভিটামিন ই : চর্বিদ্রাব্য অ্যালফা-, বিটা- ও গামা-টোকোফেরল (চিত্র 21.17) লেটুস, অন্যান্য শাকপাতা, উদ্ভিজ্জ তৈল প্রভৃতিতে থাকে। অন্ত্র হইতে টোকোফেরলগুলি পিত্তলবণের সাহায্যে শোষিত হয়।

টোকোফেরলের অভাব ঘটিলে ইঁদুরের জননশক্তি ব্যাহত হয় এবং মারাত্মক যকৃত-বিকার (hepatic necrosis) ঘটে। ইহার অভাবে গোমহিষ, ইঁদুর,

শশক প্রভৃতি প্রাণীর পেশীবিকৃতি (muscular dystrophy) দেখা দেয়—সরেখ (striated) পেশীর রেখাগুলি (striations) লোপ পায়, পেশীতন্তুগুলি ভাঙ্গিয়া পড়ে, পেশীতে ক্রিয়াটিনের পরিমাণ কমে ও অক্সিজেনের ব্যবহার বাড়ে, অঙ্গসঞ্চালনে ব্যাঘাত ঘটে এবং মূত্রে ক্রিয়াটিন বৃদ্ধি পায়। টোকোফেরলের



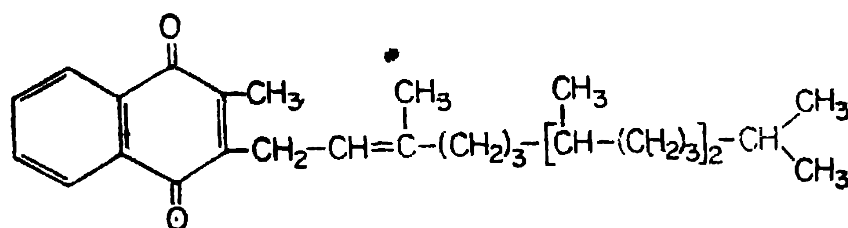
চিত্র 21.17. অ্যাল্‌ফা-টোকোফেরল—ভিটামিন ই গোষ্ঠীর অন্যতম ভিটামিন।

অভাবে মানুষের লোহিত রক্তকণিকাগুলির ভঙ্গুরতার (fra gility) প্রবণতা দেখা যায়। দেহে টোকোফেরলগুলির সম্ভাব্য ক্রিয়া নিম্নরূপ :

(*i*) টোকোফেরলগুলির জারণ-নিবারক (anti-oxidant) ক্রিয়ার প্রভাবে পৌষ্টিক নালীতে রেটিনল, অসংপৃক্ত (unsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিড প্রভৃতির জারণ নিবারিত হইয়া উহাদের অপচয় কমে।

(*ii*) পেশী, যকৃত, রক্ত প্রভৃতি কলায় অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের অবাঞ্ছিত জারণের ফলে ফ্যাটি অ্যাসিড পার-অক্সাইডের উৎপাদন টোকোফেরলের প্রভাবে নিবারিত হয়। টোকোফেরলের অভাবে সম্ভবতঃ অত্যধিক ফ্যাটি অ্যাসিড পার-অক্সাইড উৎপন্ন হইয়াই পেশী, যকৃত প্রভৃতি কলার বিকৃতি (dystrophy) ও বিকার (necrosis) এবং জননশক্তির বিলুপ্তি ঘটে।

14. ভিটামিন কে : কে-বর্গীয় চর্বিদ্রাব্য ন্যাপ্‌থোকুইনোন-জাতীয় ভিটামিনগুলির মধ্যে ফাইলোকুইনোন বা কে$_1$ (চিত্র 21.18) সবুজ শাকপাতায়



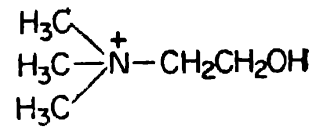
চিত্র 21.18. ভিটামিন কে$_1$ বা ফাইলোকুইনোন।

এবং ফার্নোকুইনোন বা কে$_2$ শুঁটকি মাছে থাকে ; অন্ত্রে ব্যাকটেরিয়ার সাহায্যেও ফার্নোকুইনোন সংশ্লেষিত হয়। উভয় বস্তুই পিত্তলবণের (bile salts) সাহায্যে অন্ত্র হইতে শোষিত হয়। নবজাত শিশুর দেহে ভিটামিনটির অভাব

ঘটিবার প্রবণতা থাকে। গোমহিষাদি প্রাণীকে সুইট ক্লোভার ঘাসের পচা 'হে' (hay) খাওয়াইলে উক্ত পদার্থে বর্তমান ডাইকুমারল নামক কে-বিরোধী বস্তুর (K-antagonist) ক্রিয়ায় ভিটামিনটির অভাবজনিত লক্ষণ দেখা দেয় (sweet clover disease)। (স্যালিসাইলেট জাতীয় ঔষধও কে-বিরোধী বস্তু।) বাধাজনিত ন্যাবায় (obstructive jaundice) পিত্ত অন্ত্রে আসিতে না পারায় ভিটামিনটির শোষণ ব্যাহত হইয়া দেহে উহার অভাব ঘটে। এই সকল অবস্থায় রক্তে প্রোথ্রম্বিনের পরিমাণ কমিয়া যায়. পরিবর্তে অস্বাভাবিক প্রকৃতির প্রোথ্রম্বিন আবির্ভূত হয় এবং রক্ততঞ্চন বিলম্বিত হইয়া সামান্য কারণে প্রভূত রক্তপাতের প্রবণতা দেখা দেয়। দেহে ভিটামিন কে-র সম্ভাব্য ক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ :

(*i*) ভিটামিন কে দেহে বিজারিত হইয়া সক্রিয় হাইড্রোকুইনোন আকার লাভ করে। যকৃতে প্রোথ্রম্বিন, প্রোকন্‌ভার্টিন, খ্রীস্টমাস ফ্যাক্টর এবং স্টুয়ার্ট ফ্যাক্টর নামক রক্ততঞ্চনসহায়ক প্রোটিনগুলির সংশ্লেষণকালে ভিটামিন কে-হাইড্রোকুইনোন উহাদের অণুর গ্লুটামেট অংশের গামা-কার্বনে একটি অতিরিক্ত কার্বক্সিল বর্গ সংযোজনে সাহায্য করিয়া গ্লুটামেটকে গামা-কার্বক্সিগ্লুটামেটে পরিণত করে। রক্ততঞ্চনের সময়ে ঐ প্রোটিনগুলির অণুতে গামা-কার্বক্সিগ্লুটা-মেটের অতিরিক্ত গামা-কার্বক্সিল বর্গে ক্যালসিয়াম আয়ন আবদ্ধ হইয়া গিয়া প্রোটিনগুলিকে সক্রিয় করিয়া রক্ততঞ্চনে সাহায্য করে। ভিটামিন কে-র অভাবে এরূপ গামা-কার্বক্সিল বর্গের সংযোজন ব্যাহত হওয়ায় ঐ রক্ততঞ্চনসহায়ক প্রোটিনগুলি নিষ্ক্রিয় থাকিয়া যায়, ফলে রক্ততঞ্চনে ব্যাঘাত ঘটে।

(*ii*) ভিটামিন কে-হাইড্রোকুইনোন অস্থি ও দন্তের ধাত্রে (matrix) অস্টিওক্যাল্‌সিন ও অনুরূপ কয়েকটি প্রোটিনের গ্লুটামেট অংশের গামা-কার্বনে একটি অতিরিক্ত কার্বক্সিল বর্গ সংযোজনে সাহায্য করিয়া উহাদের অণুতে গামা-কার্বক্সিগ্লুটামেটের উৎপত্তি ঘটায়। উক্ত গামা-কার্বক্সিগ্লুটামেটের অতিরিক্ত গামা-কার্বক্সিল বর্গে সহজেই ক্যালসিয়াম আয়ন আবদ্ধ হইয়া যায় : ফলে অস্থি ও দন্তের ধাত্রে ক্যালসিয়ামের অবক্ষেপণ (deposition) ঘটিতে পারে।



চিত্র 21.19. কোলিন।

(*iii*) সম্ভবতঃ ভিটামিন কে-হাইড্রোকুইনোনের ক্রিয়ায় যকৃত ও বৃক্কের মাইটোকন্‌ড্রিয়া ও মাইক্রো-জোমের ঝিল্লীর প্রোটিনগুলিতে অনুরূপ গামা-কার্বক্সিগ্লুটামেট অংশের সৃষ্টি হয় এবং তাহার ক্যালসিয়াম-ধারক (calcium-binding) গুণের জন্য ঐ সকল ঝিল্লীর বহু জৈব ক্রিয়া সম্ভব হয়।

(*iv*) ভিটামিন কে মাইটোকন্ড্রিয়ার ঝিল্লীতে জারণধর্মী ফসফেট-সংযোজনে (oxidative phosphorylation) সাহায্য করে, এরূপ ইঙ্গিত পাওয়া যায়।

15. **কোলিন :** ইহাকেও অনেকে বি-বর্গীয় ভিটামিন রূপে বিবেচনা করেন (চিত্র 21.19)। অবশ্য দেহে মেথিওনিনের সচল (labile) মিথাইল বর্গের সাহায্যে ইহার অল্পাধিক সংশ্লেষণ ঘটে (চিত্র 19.23)। ফসফোলিপিড সংশ্লেষণে অংশ লইয়া ইহা চর্বিসঞ্চালক (lipotropic) বস্তুরূপে কাজ করে (18.3 ও 18.8 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য)।

সারণী 21.2. দৈনিক আহার্যে কয়েকটি উপাদানের প্রয়োজনীয় পরিমাণ।

উপাদান	প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ	প্রাপ্তবয়স্কা নারী	গর্ভবতী নারী	স্তনদাত্রী নারী	বালক (5 বর্ষ)
ক্যালসিয়াম (গ্রা)	0.8	0.8	1.5	1.5	0.6
ফসফরাস (গ্রা)	0.8	0 8	1.5	1.5	0.6
লৌহ (মি গ্রা)	10	15	20	20	10
আয়োডিন (মা গ্রা)	140	100	125	150	80
থিয়ামিন (মি গ্রা)	1.4	1.0	1.2	1.3	0.8
রাইবোফ্ল্যাভিন (মি গ্রা)	1 8	1.4	1.6	1.8	0 8
নিয়াসিন (মি গ্রা)	18	13	15	17	10
পাইরিডক্সিন (মি গ্রা)	2	2	2.5	2.5	0.8
ফোলাসিন (মি গ্রা)	0.4	0.4	0.8	0.5	0 2
ভিটামিন বি$_{12}$ (মা গ্রা)	3	3	4	4	2
ভিটামিন সি (মি গ্রা)	45	45	55	80	40
রেটিনল (আই ইউ)	5000	4000	5000	6000	2500
ভিটামিন ডি (আই ইউ)	100	100	400	400	400
টোকোফেরল (আই ইউ)	14	12	15	14	8

গ্রা = গ্রাম ; মি গ্রা = মিলিগ্রাম ; মা গ্রা = মাইক্রোগ্রাম ; আই ইউ—ইন্টারন্যাশন্যাল ইউনিট।

21.10 খাদ্যের শ্রেণীবিভাগ

বিভিন্ন প্রকার খাদ্যবস্তুতে যে যে উপাদানের প্রাধান্য থাকে, সেই অনুযায়ী খাদ্যবস্তুগুলিকে কয়েকটি শ্রেণীতে ভাগ করা হইয়াছে। দেহের যথাযথ পুষ্টি সুনিশ্চিত করার জন্য প্রত্যেক শ্রেণী হইতে উপযুক্ত পরিমাণে খাদ্যবস্তু দৈনিক আহার্যতালিকার অন্তর্ভুক্ত করা প্রয়োজন।

1. প্রোটিনপ্রধান খাদ্য :

ডিম, দুধ, মাছ, মাংস, ডাল, দই, ছানা, পনির প্রভৃতি খাদ্য এই শ্রেণীর অন্তর্গত। দেহে প্রোটিনের প্রয়োজনীয়তা পূরণের জন্য নিয়মিত এই শ্রেণীর খাদ্য পর্যাপ্ত পরিমাণে আহার করা প্রয়োজন। সাধারণতঃ ডিম, যকৃত, মাছমাংস, দুধ প্রভৃতি জান্তব প্রোটিনগুলিতে সকল অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডই যথেষ্ট পরিমাণে থাকে, সেজন্য সেগুলি অধিকতর পুষ্টিকর ; কিন্তু জান্তব প্রোটিনগুলি অধিক মহার্ঘও বটে। ডাল ও অন্যান্য উদ্ভিজ্জ প্রোটিনে কোনও কোনও অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাব থাকায় তাহাদের পুষ্টিকারিতা কম, কিন্তু তাহারা জান্তব প্রোটিনের তুলনায় অনেক কম মহার্ঘ। প্রাত্যহিক আহার্যে একাধিক উদ্ভিজ্জ প্রোটিন মিশাইয়া গ্রহণ করিলে তাহাদের পরস্পর সম্পূরক ক্রিয়ার (supplementary action) জন্য তাহাদের পুষ্টিকারিতা যথেষ্ট বৃদ্ধি পায়, অর্থাৎ একটি উদ্ভিজ্জ প্রোটিনে যে অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাব আছে তাহা অন্য একটি উদ্ভিজ্জ প্রোটিনের দ্বারা পূরণ হইয়া যায়। এজন্যই খিচুড়ি, ডাল-রুটি, ইডলি-সম্বর প্রভৃতি আহার করিলে একাধিক উদ্ভিজ্জ প্রোটিনের মিশ্রণে যথাযথ পুষ্টিলাভ সম্ভব হয়। অবশ্য অল্প কিছু জান্তব প্রোটিন উদ্ভিজ্জ প্রোটিনের সহিত একত্রে খাইলে উদ্ভিজ্জ প্রোটিনগুলির পুষ্টিমূল্য আরও অনেক বৃদ্ধি পায়।

দুধ, দই ও ছানা : দুধের মুখ্য উপাদানগুলির গড় পরিমাণ সারণী 21.3-এ দ্রষ্টব্য। এক লিটার গোদুগ্ধের ক্যালরিমূল্য প্রায় 700 কিলোক্যালরি। দুধের প্রোটিন কেসিন, ল্যাক্‌ট্‌-অ্যালবুমিন ও ল্যাক্‌ট্‌-গ্লোবিউলিন ; শেষোক্ত দুইটি প্রোটিনের জৈব মূল্য (biological value) খুব বেশি ; অবশ্য কেসিনের জৈব মূল্যও যথেষ্ট। নারীদুগ্ধ ও গোদুগ্ধে কেসিন, ল্যাক্‌ট্‌-অ্যালবুমিন ও ল্যাক্‌ট্‌-গ্লোবিউলিনের পরিমাণের অনুপাত যথাক্রমে প্রায় 4:3:5 এবং 7:4:1 — নারীদুগ্ধে গোদুগ্ধের তুলনায় মোট প্রোটিন এবং কেসিন কম।

দুধের প্রধান কার্বোহাইড্রেট ল্যাক্‌টোজ নামক ডাইস্যাকারাইড। নারীদুগ্ধ ও অশ্বদুগ্ধে ইহার পরিমাণ গোদুগ্ধের তুলনায় অনেক বেশি। দুধের ফ্যাটে পামিটিক, ওলেইক, স্টিয়ারিক, মিরিস্টিক প্রভৃতি দীর্ঘাণু ফ্যাটি অ্যাসিড ব্যতীত কিছু ক্ষুদ্রাণু ফ্যাটি অ্যাসিডও বর্তমান। দুধের মোট ফ্যাটি অ্যাসিডের প্রায় 30% অসংপৃক্ত এবং অবশিষ্ট সংপৃক্ত অ্যাসিড। দুধের ফ্যাট অত্যন্ত সূক্ষ্ম অবদ্রবের (emulsion) আকারে থাকায় সহজেই উহার পরিপাক ও শোষণ

সম্ভব হয়। ছাগদুগ্ধের ছানা কোমল, উহার ফ্যাট কণাগুলির আয়তনও অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্র ; তাই ছাগদুগ্ধ লঘুপাচ্য। মহিষদুগ্ধে গোদুগ্ধ, ছাগদুগ্ধ বা নারীদুগ্ধের তুলনায় প্রায় দ্বিগুণ ফ্যাট থাকে।

দুধে উল্লেখযোগ্য পরিমাণে ক্যারোটিন, ভিটামিন এ, রাইবোফ্ল্যাভিন, থিয়ামিন প্রভৃতি ভিটামিন বর্তমান, কিন্তু ভিটামিন সি, ডি এবং কে পরিমাণে যৎসামান্য। আজকাল ডেয়ারির দুধে অতিরিক্ত ভিটামিন ডি মিশাইয়া দেওয়া হয়।

ক্যালসিয়াম ও ফসফরাস দুধে পর্যাপ্ত পরিমাণে এবং শোষণের পক্ষে প্রয়োজনীয় অনুপাতে থাকে, এজন্য দুধ উহাদের অত্যুত্তম উৎস —100 গ্রাম গোদুগ্ধে প্রায় 120 মিলিগ্রাম ক্যালসিয়াম ও প্রায় 100 মিলিগ্রাম ফসফরাস বর্তমান। কিন্তু নারীদুগ্ধে ঐ দুই উপাদানের পরিমাণ উহার প্রায় $\frac{1}{3}-\frac{1}{8}$ মাত্র।

সন্তানজন্মের পরে প্রথম 4-5 দিন স্তন হইতে একটি সান্দ্র (viscous) পীতাভ জলীয় রস ক্ষরিত হয়। ইহার নাম **কলোস্ট্রাম** (colostrum)। ইহা উত্তাপে তঞ্চিত হয়। দুধের তুলনায় কলোস্ট্রামে ফ্যাট, ল্যাক্টোজ ও কেসিন অনেক কম থাকে, কিন্তু যথেষ্ট গ্লোবিউলিন-জাতীয় প্রোটিন থাকে। কলোস্ট্রামের গ্লোবিউলিনের অধিকাংশই মাতার রক্ত হইতে আগত অপরিবর্তিত ইমিউনোগ্লোবিউলিন। এই ইমিউনোগ্লোবিউলিনগুলি নবজাতকের পৌষ্টিক নালী হইতে কোনরূপ পরিপাক ব্যতীতই শোষিত হওয়ায় বহু রোগজীবাণুর বিরুদ্ধে শিশু অনাক্রম্যতা (immunity) লাভ করে। কলোস্ট্রামে উল্লেখযোগ্য পরিমাণে ল্যাক্ট্-অ্যালবুমিন ও ল্যাক্ট্-গ্লোবিউলিনও থাকে। দুধের তুলনায় কলোস্ট্রামে ক্যালসিয়াম, ফসফরাস এবং এ, ডি, ই প্রভৃতি ভিটামিনের পরিমাণ অধিক।

ফটকিরি, ল্যাক্টিক অ্যাসিড, লেবুর জলের সাইট্রিক অ্যাসিড অথবা পাকস্থলী-রসের রিনিনের ক্রিয়ায় দুধের কেসিন এবং কিছু ল্যাক্ট্-অ্যালবুমিন ও ফ্যাট তঞ্চিত (coagulated) হইয়া ছানায় পরিণত হয়। দুধের প্রোটিনের অধিকাংশ এবং ফ্যাটের কিয়দংশ ছানার অন্তর্ভুক্ত হইলেও ল্যাক্টোজের অধিকাংশ, ল্যাক্ট্-অ্যালবুমিন ও ফ্যাটের কতকাংশ এবং অনেক অজৈব লবণ দ্রবীভূত অবস্থায় ছানার জলে চলিয়া যায়। ছানায় প্রায় 22% তঞ্চিত কেসিন, প্রায় 3% ল্যাক্টোজ এবং প্রায় 18% ফ্যাট থাকে ; ক্যালসিয়াম, রাইবোফ্ল্যাভিন, ক্যারোটিন, ভিটামিন এ প্রভৃতিও উল্লেখযোগ্য পরিমাণে বর্তমান।

দম্বলের ল্যাক্টোব্যাসিলাই বা অন্যান্য ল্যাক্টিক অ্যাসিড-উৎপাদক ব্যাকটেরিয়ার ক্রিয়ায় দুধের ল্যাক্টোজের কিণ্বন (fermentation) ঘটিয়া ল্যাক্টিক অ্যাসিড উৎপন্ন হইলে তাহার প্রভাবে কেসিন তঞ্চিত হইয়া দই উৎপন্ন হয়। ল্যাক্টিক অ্যাসিডের জন্যই দই অম্লধর্মী ; দইয়ের অম্লত্ব ক্যালসিয়াম শোষণের সহায়ক। দইয়ে ল্যাক্টিক অ্যাসিড ও তঞ্চিত কেসিন ব্যতীত পেপ্টোন, পেপ্টাইড, অ্যামাইনো অ্যাসিড, ফ্যাট, রাইবোফ্ল্যাভিন, ক্যারোটিন, ভিটামিন এ, ক্যালসিয়াম প্রভৃতির পরিমাণ উল্লেখযোগ্য। দইয়ে প্রোটিন, ফ্যাট, শর্করা ও ক্যালসিয়ামের পরিমাণ যথাক্রমে প্রায় 3%, 4%, 3% ও 0.15% এবং ইহার ক্যালরিমূল্য দুধের অনুরূপ। প্রোটিনগুলি জীবাণুর ক্রিয়ায় আংশিক জলবিশ্লিষ্ট হওয়ায় দইয়ের প্রোটিন অপেক্ষাকৃত সহজপাচ্য।

দুধের জীবাণুঘটিত কিণ্বনের দ্বারা উৎপন্ন পনিরে যথেষ্ট ফ্যাট, প্রোটিন, ভিটামিন এ, ক্যারোটিন, ক্যালসিয়াম ও ফসফরাস থাকে-চেডার পনিরে ফ্যাট ও প্রোটিন যথাক্রমে প্রায় 32% ও 24%।

ডিম : একটি মাঝারি আয়তনের মুরগির ডিমের (50 গ্রাম) ক্যালরি-মূল্য প্রায় 82 কিলোক্যালরি। ডিমের কুসুমে ওভোভিটেলিন নামক ফসফোপ্রোটিনটিই প্রধান প্রোটিন। ইহার জৈব মূল্য (biological value) খুব বেশি এবং ইহা উত্তাপে তঞ্চিত হয়। ডিমের শাদা অংশে ওভো-অ্যালবুমিন ও ওভো-গ্লোবিউলিন নামক উচ্চ জৈব মূল্যের প্রোটিন বর্তমান ; ইহারাও উত্তাপে তঞ্চিত হইয়া যায়। ডিমের শাদা অংশে অ্যাভিডিন নামক একটি ক্ষারধর্মী গ্লাইকোপ্রোটিনও থাকে, উহা অন্ত্রে বায়োটিন নামক ভিটামিনের সহিত মিলিত হইয়া তাহার শোষণ বন্ধ করিয়া দেয়। অ্যাভিডিনও উত্তাপে নিষ্ক্রিয় হইয়া যায়, সেজন্য সিদ্ধ বা ভাজা ডিমে অ্যাভিডিনের হানিকর প্রভাব নষ্ট হইয়া যায়। ডিমের কুসুমে কোলেস্টেরল, লেসিথিন, কেফালিন, ক্যারোটিন, বায়োটিন, থিয়ামিন, রাইবোফ্ল্যাভিন, নিকোটিনিক অ্যাসিড, ক্যালসিয়াম, ফসফরাস, লৌহ প্রভৃতিও যথেষ্ট পরিমাণে বর্তমান ; কিন্তু ভিটামিন সি নাই বলিলেই চলে। সকল স্বাভাবিক খাদ্যের মধ্যে ডিমেই কোলেস্টেরলের পরিমাণ সর্বাধিক—প্রতি 100 গ্রাম ডিমে প্রায় 160 মিলিগ্রাম কোলেস্টেরল থাকে। ডিমের কুসুমে 33% লিপিড বর্তমান ; অবশ্য সহজপাচ্যতা ও লাইনোলেয়িক অ্যাসিডের উপস্থিতির জন্য ডিমের লিপিডের পুষ্টিমূল্য অধিক। ডিমের বিভিন্ন মুখ্য উপাদানের পরিমাণ সারণী 21.3-এ দ্রষ্টব্য।

মাছমাংস : মাছ ও মাংসের অংশভেদে এবং রন্ধনপ্রণালীর তারতম্যে উহাদের উপাদানের পার্থক্য ঘটে (সারণী 21.3)। মাছমাংসের প্রোটিনের জৈব মূল্য খুব বেশি, কিন্তু এসকল খাদ্যে কার্বোহাইড্রেট যৎসামান্য। মাংস ও মেটে বা যকৃতে সাধারণতঃ 18-25% প্রোটিন থাকে। চর্বিযুক্ত মাংস হইতে যথেষ্ট ফ্যাটও পাওয়া যায় এবং সেই অনুপাতে তাহার ক্যালরিমূল্যও চর্বিহীন মাংসের তুলনায় অনেক বেশি—কচি পাঁঠার চর্বিহীন মাংসে শতকরা একভাগেরও কম ফ্যাট থাকে, কিন্তু চর্বিযুক্ত বেকনে শতকরা 40 ভাগ পর্যন্ত ফ্যাট বর্তমান। তাহা ছাড়া মাংসে লৌহ, ফসফরাস, ভিটামিন বি$_{12}$, থিয়ামিন, নিকোটিনঅ্যামাইড, পাইরিডক্সিন প্রভৃতিও উল্লেখযোগ্য পরিমাণে থাকে। মেটে ভিটামিন বি$_{12}$, থিয়ামিন, রাইবোফ্ল্যাভিন, নিকোটিন-অ্যামাইড, পাইরিডক্সিন, ভিটামিন কে, ফোলিক অ্যাসিড প্রভৃতির উত্তম উৎস। মাংসে ভিটামিন সি এবং এ নাই বলিলেই চলে।

মাছে সাধারণতঃ 16-22% প্রোটিন এবং উল্লেখনীয় পরিমাণে ক্যালসিয়াম, ফসফরাস, ভিটামিন বি$_{12}$, রাইবোফ্ল্যাভিন প্রভৃতি থাকে। চিতল, স্যামন, ইলিশ প্রভৃতি তৈলাক্ত মাছে এবং মাছের অন্তরাঙ্গ (viscera) বা তথাকথিত 'তেলে' যথেষ্ট ফ্যাট, ভিটামিন এ এবং ভিটামিন ডি পাওয়া যায়—কই, মাগুর, শিঙ্গি প্রভৃতি সহজপাচ্য জিওল মাছে শতকরা একভাগেরও কম ফ্যাট থাকে, কিন্তু চিতল, ইলিশ প্রভৃতি তৈলাক্ত মাছে শতকরা 20 ভাগ পর্যন্ত ফ্যাট বর্তমান। ফ্যাটের পরিমাণ যত বেশি, মাছের ক্যালরিমূল্যও তত অধিক। শুঁটকি মাছে ভিটামিন কে, বহু মাছের যকৃতে ভিটামিন ডি ও এ এবং সামুদ্রিক মাছ, চিংড়ি বা কাঁকড়ায় নিকোটিনঅ্যামাইড ও আয়োডিন যথেষ্ট পরিমাণে বর্তমান। পুঁটি, মৌরলা, খয়রা প্রভৃতি মাছের কাঁটা চিবাইয়া খাইয়া ফেলিলে তাহা হইতে যথেষ্ট ক্যালসিয়াম ও ফসফরাস পাওয়া যায়। মাছের ডিমে প্রায় 20-25% উন্নত মানের প্রোটিন, 10-20% সহজপাচ্য ফ্যাট এবং যথেষ্ট পরিমাণে প্যান্টোথেনিক অ্যাসিড থাকে। চিংড়ি, কাঁকড়া প্রভৃতির মাংসে ফ্যাট কম, কিন্তু কোলেস্টেরল অপেক্ষাকৃত বেশি ; তাহা ছাড়া ইহাদের মাংস খাইলে অনেকের অ্যালার্জি হইতে দেখা যায়।

ডাল : ডালের প্রোটিনে মেথিওনিন, ট্রিপ্টোফ্যান প্রভৃতি অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অপ্রতুলতা থাকায় তাহার জৈব মূল্য অপেক্ষাকৃত কম। ডালে প্রোটিনের পরিমাণ প্রায় 20-25% অর্থাৎ তণ্ডুলজাতীয় খাদ্য অপেক্ষা অধিক। তাহা ছাড়া ডালের প্রোটিনে দানাশস্যের তুলনায় লাইসিন নামক অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের পরিমাণ অপেক্ষাকৃত বেশি। ডালে কার্বো-

হাইড্রেটও প্রায় 56-60% । অবশ্য ছোলার ডাল ব্যতীত অন্যান্য ডালে ফ্যাট নিতান্তই অল্প (সারণী 21.3) । ক্যালসিয়াম, ফসফরাস, লৌহ, পটাসিয়াম, থিয়ামিন, নিকোটিনঅ্যামাইড, বায়োটিন প্রভৃতিও ডালে যথেষ্ট পরিমাণে থাকে । কিন্তু ডালে ভিটামিন সি থাকে না এবং রাইবোফ্ল্যাভিনের পরিমাণও কম ; অবশ্য অঙ্কুরিত মুগ, কলাই, মটর, ছোলা প্রভৃতিতে ভিটামিন সি, ক্যারোটিন, রাইবোফ্ল্যাভিন প্রভৃতির পরিমাণ যথেষ্ট বৃদ্ধি পায় । খেসারি ডাল নিয়মিত খাইলে তাহার বিটা-এন্-অক্স্যালিলঅ্যামাইনো-এল্-অ্যালানিন নামক জলদ্রাব্য বিষাক্ত পদার্থের ক্রিয়ায় সুষুম্নাকাণ্ডের পিরামিডাল নার্ভকাণ্ডে ক্ষত হইয়া পদদ্বয়ের দৌর্বল্য ও আড়ষ্টতা এবং অকস্মাৎ পক্ষাঘাত ঘটিতে পারে ; ইহাকে ল্যাথিরিজ্‌ম্‌ (lathyrism) রোগ বলে । বিহার, মধ্যপ্রদেশ, পশ্চিমবঙ্গ প্রভৃতি রাজ্যে এই রোগ দেখা যায় । দুর্ভিক্ষ-পীড়িত অঞ্চলে অত্যধিক খেসারি ডাল খাওয়ায় বহু লোকে এই রোগে আক্রান্ত হয় ।

2. অপুষ্টিনিবারক ফল ও সবজি :

নানা প্রকার ভিটামিন ও খনিজ লবণের (minerals) উৎস হিসাবে প্রাত্যহিক আহার্যে এই শ্রেণীর কিছু খাদ্যবস্তু থাকা প্রয়োজন ; নচেৎ নানা প্রকার অপুষ্টি রোগের প্রবণতা বৃদ্ধি পায় । এই শ্রেণীর খাদ্যগুলিকে প্রধানতঃ তিনভাগে ভাগ করা যায় :

সবুজ শাকসবজি : পালং, কলমি, বাঁধাকপির সবুজ পাতা, লেটুস, ধনেপাতা, কচুশাক, মেথিশাক, নটেশাক, পিঁয়াজকলি, মূলাশাক প্রভৃতি সবুজ শাকপাতা ক্যালসিয়াম, লৌহ, রাইবোফ্ল্যাভিন, ফোলিক অ্যাসিড, ক্যারোটিন, ভিটামিন সি, ভিটামিন কে প্রভৃতির উত্তম উৎস । সাধারণভাবে পালং, কলমি, মূলাশাক, বাঁধাকপির বাহিরের পাতা প্রভৃতি গাঢ় সবুজ শাকপাতায় ক্যালসিয়াম, ক্যারোটিন, ভিটামিন সি, ভিটামিন কে প্রভৃতির পরিমাণ লেটুস, বাঁধাকপির ভিতরের পাতা প্রভৃতি অপেক্ষাকৃত হালকা সবুজ শাকপাতার তুলনায় বেশি । অবশ্য কোনও কোনও শাকপাতায় অক্সালিক অ্যাসিড থাকায় তাহার ক্যালসিয়ামের একাংশ দেহে শোষিত হইতে পারে না । সবুজ শাক-সবজিতে প্রায় 1-8% সেলুলোজ বর্তমান, কিন্তু প্রোটিনের পরিমাণ অত্যন্ত সামান্য ।

পীতলোহিত সবজি ও ফল : গাজর, বীট, তরমুজ এবং সুপক্ব পেঁপে, আম, কাঁঠাল, টোম্যাটো প্রভৃতি হলুদ, কমলা বা রক্তবর্ণ সবজি ও ফলে যথেষ্ট

ক্যারোটিন বর্তমান। আম, তরমুজ, পেঁপে ও টোম্যাটোয় ভিটামিন সি-র পরিমাণও উল্লেখযোগ্য।

টক ফল : কমলালেবু, পাতিলেবু, বাতাবিলেবু, মুসাম্বি, আনারস, লিচু, আমলকী, টোম্যাটো, আম, আঙ্গুর, কুল প্রভৃতি টক ফলে প্রচুর পরিমাণে ভিটামিন সি থাকে। এরূপ একটি টক ফল নিয়মিত ভাবে প্রাত্যহিক খাদ্যতালিকার অন্তর্গত করা বাঞ্ছনীয়। ফলে প্রোটিন নাই বলিলেই চলে, কিন্তু অধিকাংশ সুপক্ক ফলে প্রায় 5-15% কার্বোহাইড্রেট প্রধানতঃ ফ্রুক্টোজ, গ্লুকোজ ও সুক্রোজ শর্করাগুলির আকারে বর্তমান। তাহা ছাড়া পেয়ারা, আপেল প্রভৃতি ফলে পেক্‌টিন নামক পলিস্যাকারাইডও থাকে। কলায় প্রায় 20-25% কার্বোহাইড্রেট থাকে এবং নিরক্ষীয় অঞ্চলের বহু দ্বীপপুঞ্জে ইহা অন্যতম প্রধান খাদ্য। কলায় যথেষ্ট ভিটামিন সি এবং কিছু বি ভিটামিনও বর্তমান, কিন্তু প্রোটিন মাত্র 1%।

3. বিবিধ সবজি :

অজৈব লবণ ও ভিটামিনের উৎস হিসাবে আরও কতকগুলি সবজির কিছু গুরুত্ব আছে। যথা, ঢেঁড়স, সজিনা ডাঁটা, ফুলকপি ও বড় লঙ্কা (ক্যাপ্‌সিকাম) হইতে ভিটামিন সি পাওয়া যায়, ফ্রেন্‌চ্‌ বীন, ক্যাপ্‌সিকাম ও করলায় বেশ কিছু ক্যারোটিন থাকে, আবার টাটকা মটর, সয়াবিন, বীন প্রভৃতিতে বি-বর্গীয় ভিটামিনগুলি যথেষ্ট পরিমাণে বর্তমান।

4. দানাশস্য, কন্দ ও মূল :

চাল, গম, ভুট্টা, যব, জোয়ার, বাজরা, রাগি, ওট প্রভৃতি দানাশস্য এবং আলু, রাঙ্গা আলু, ট্যাপিয়োকা, কচু, ওল, বীট প্রভৃতির স্ফীত কন্দ বা মূল খাদ্যে কার্বোহাইড্রেটের প্রধান উৎস। তাহা ছাড়া দানাশস্যগুলি হইতে যথেষ্ট পরিমাণে ক্যালসিয়াম, ফসফরাস ও বিভিন্ন বি-বর্গীয় ভিটামিনও পাওয়া যায়। দানাশস্য হইতে যথেষ্ট প্রোটিনও পাওয়া যায়, কিন্তু অনেক দানাশস্যেই লাইসিন, ট্রিপ্‌টোফ্যান প্রভৃতি অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাব থাকায় তাহাদের প্রোটিনের জৈব মূল্য (biological value) অপেক্ষাকৃত কম। প্রত্যেকবারের আহার্যে একাধিক দানাশস্য (যথা, ভাত ও রুটি) অন্তর্ভুক্ত করিলে তাহাদের প্রোটিনগুলির পরস্পর সম্পূরক ক্রিয়ার (supplementary action) ফলে অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির অভাব পূরণ হইয়া পুষ্টিমূল্য বৃদ্ধি পায়। অনুরূপ কারণেই ডাল বা দুধের সহিত খাইলে দানাশস্যের প্রোটিনগুলির পুষ্টিকারিতা বাড়িয়া যায়।

চাল : আতপ ও সিদ্ধ চাল, খই ও চিঁড়ায় বিভিন্ন উপাদানের পরিমাণ সারণী 21.3-এ দ্রষ্টব্য।

চালে যে 78-79% কার্বোহাইড্রেট থাকে, তাহার প্রায় সবটুকুই স্টার্চ ; অবশ্য শস্যের বহিঃস্তরে অল্প কিছু তান্তব (fibrous) পদার্থ থাকে, কিন্তু তাহার অধিকাংশই ধান ভানিবার সময়ে খুদে চলিয়া যায়। চালে প্রায় 6.5% প্রোটিন থাকিলেও উহাতে লাইসিন নামক অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডটির অভাবের জন্য ঐ প্রোটিনের জৈব মূল্য অপেক্ষাকৃত কম। চালের ভ্রূণে ভিটামিন ই এবং শস্যের বহিঃস্তরে ক্যালসিয়াম, ফসফরাস প্রভৃতির লবণ ও থিয়ামিন, নিকোটিনঅ্যামাইড, পাইরিডক্সিন প্রভৃতি বি-বর্গীয় ভিটামিন যথেষ্ট পরিমাণে থাকে। ধান ভানিবার সময়ে ভ্রূণ ও বহিঃস্তরের ঐ সকল উপাদানের অধিকাংশই খুদে চলিয়া গিয়া অপচয় হয়। লাল চালে শস্যের বহিঃস্তর কিছুটা থাকিয়া যাওয়ায় এরূপ অপচয় কিছু কম হয়। সিদ্ধ চালের জন্য ধান সিদ্ধ করিবার সময়ে কিছু অজৈব লবণ ও ভিটামিন বহিঃস্তর হইতে শস্যের কেন্দ্রস্থলে প্রবেশ করিয়া ঐরূপ অপচয়ের হাত হইতে রক্ষা পায়। এজন্য লাল চাল বা সিদ্ধ চাল খাইলে শাদা আতপ চালের তুলনায় বি-বর্গীয় ভিটামিন বেশি পাওয়া যায় এবং বেরিবেরি হওয়ার আশঙ্কা কম থাকে। চাল ধুইবার সময়ে কিছু বি-ভিটামিন জলে দ্রবীভূত হইয়া অপচয় হয়। ভাত রাঁধিবার সময়ে ফেনের সহিত স্টার্চ, প্রোটিন, অজৈব লবণ ও ভিটামিনের কিছু অপচয় ঘটে। ভাতে জলীয় অংশ বৃদ্ধি পাওয়ায় তাহার ক্যালরিমূল্য শুষ্ক চালের তুলনায় $\frac{1}{3}$ মাত্র। খই ও চিঁড়ায় কার্বোহাইড্রেট ও প্রোটিনের পরিমাণ প্রায় চালের মতই, কিন্তু চালের তুলনায় খই বা চিঁড়ায় ক্যালসিয়াম, লৌহ ও বি-বর্গীয় ভিটামিনের পরিমাণ বেশি। চালে ও তণ্ডুলজাতীয় খাদ্য-গুলিতে ভিটামিন সি, এ বা ক্যারোটিন নাই।

গম : গম, ময়দা, আটা ও সুজির প্রধান উপাদানগুলির পরিমাণ সারণী 21.3-এ দ্রষ্টব্য। গমে যে 70-72% কার্বোহাইড্রেট থাকে, তাহার শতকরা প্রায় 97 ভাগই স্টার্চ ; কিন্তু গমে সেলুলোজ তন্তুর পরিমাণ চালের তুলনায় বেশি এবং তাহার অধিকাংশই গমের বাদামী বহিঃস্তরে থাকে। গমের ভ্রূণে ভিটামিন ই এবং প্রধানতঃ শস্যের বহিঃস্তরে ক্যালসিয়াম, লৌহ, ফসফরাস প্রভৃতির লবণ, থিয়ামিন, পাইরিডক্সিন, রাইবোফ্ল্যাভিন, নিকোটিনঅ্যামাইড প্রভৃতি ভিটামিন এবং ক্যারোটিন যথেষ্ট পরিমাণে বর্তমান, কিন্তু ভিটামিন সি নাই। গম ভাঙ্গিবার সময়ে সেলুলোজ, ধাতব লবণ ও ভিটামিনগুলির অনেকখানি অংশই ভুসির মধ্যে চলিয়া যায় ; ফলে শাদা ময়দায় ভুসিযুক্ত লাল আটার তুলনায় ঐ

সকল উপাদান কম থাকে। বস্তুতঃ চালের তুলনায় গম বা লাল আটায় প্রোটিন, তান্তব পদার্থ, ক্যালসিয়াম, ফসফরাস, লৌহ, ক্যারোটিন ও বি-বর্গীয় ভিটামিনের পরিমাণ বেশি। গমে প্রায় 12% প্রোটিন থাকে—ইহা চালের প্রোটিনের তুলনায় দ্বিগুণের অল্প কম ; গমের প্রোটিনেও লাইসিনের অভাব থাকায় উহার জৈব মূল্য (biological value) অপেক্ষাকৃত কম। তাহা ছাড়া, গমে ক্যালসিয়ামের পরিমাণ চালের তুলনায় প্রায় 4 গুণ হইলেও গমে এবং লাল আটায় ফাইটিক অ্যাসিড অধিক থাকায় ক্যালসিয়াম ও লৌহের একাংশ অদ্রাব্য ফাইটেট লবণে পরিণত হইয়া অশোষিত থাকিয়া যায়। ময়দায় আটার তুলনায় ক্যালসিয়াম ও লৌহ কম থাকিলেও ফাইটেটের পরিমাণও ময়দায় কম বলিয়া উহা হইতে ক্যালসিয়াম ও লৌহের শোষণ অপেক্ষাকৃত বেশি হয়। রুটিতে ভাতের তুলনায় জল কম থাকায় রুটির ক্যালরিমূল্য ভাতের প্রায় 2.5 গুণ। রুটি সেঁকিলে স্টার্চের আংশিক জলবিশ্লেষ ঘটিয়া ডেক্সট্রিন উৎপন্ন হওয়ায় উহা সহজপাচ্য হইয়া যায়। পাঁউরুটি তৈয়ারির সময়ে তাহাতে প্রতি 100 গ্রামে 550 আই.ইউ. ভিটামিন এ, 6.5 মিলিগ্রাম ফেরাস সালফেট এবং কিছু থিয়ামিন ও নিয়াসিন মিশাইয়া দেওয়ার রীতি প্রচলিত হইয়াছে।

আলু : দানাশস্যের তুলনায় আলুতে জলীয় ভাগ অনেক বেশি। আলুতে প্রায় 20% কার্বোহাইড্রেট থাকে ; কার্বোহাইড্রেটের প্রায় 98% স্টার্চ এবং অবশিষ্ট তান্তব (fibrous) পদার্থ। প্রোটিন উন্নত মানের, কিন্তু পরিমাণে মাত্র 2%-এর মত। অল্পস্বল্প খনিজ লবণ, ক্যারোটিন এবং ভিটামিনও থাকে। আলু হইতে উল্লেখযোগ্য পরিমাণে পটাসিয়াম পাওয়া যায়। প্রোটিন ও ভিটামিনগুলি খোসার ঠিক নিচেই থাকে, এজন্য খোসা ছাড়াইয়া রাঁধিলে তাহাদের অপচয় ঘটে। অধিকাংশ দানাশস্যের তুলনায় আলুতে ক্যালসিয়াম, লৌহ, থিয়ামিন, রাইবোফ্ল্যাভিন ও নিকোটিনঅ্যামাইড অনেক কম, কিন্তু ভিটামিন সি অপেক্ষাকৃত বেশি—100 গ্রামে প্রায় 5-30 মিলিগ্রাম। ভিটামিনের সি-র পরিমাণ টক ফল বা শাকসবজির তুলনায় অল্প হইলেও খাদ্যে সাধারণভাবে আলুর পরিমাণ বেশি থাকায় তাহা হইতে উল্লেখযোগ্য পরিমাণে ভিটামিন সি পাওয়ার সম্ভাবনা।

5. গাঢ় খাদ্য (concentrated food) :

গুড়, চিনি, মধু, ঘি, উদ্ভিজ্জ তৈল, 'বনস্পতি' প্রভৃতিকে গাঢ় খাদ্য বলা হয়, কারণ এগুলিতে জলীয় অংশ অপেক্ষাকৃত কম। এগুলি হইতে প্রভূত পরিমাণে কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাট পাওয়া যায়, সেজন্য ইহারা উচ্চ ক্যালরিমূল্যের খাদ্য।

উদ্ভিজ্জ তৈল ও 'বনস্পতি' : সরিষা, বাদাম, রেপসীড, তিল, নারিকেল প্রভৃতির তৈলে এবং হাইড্রোজেন-যুক্ত উদ্ভিজ্জ তৈল বা 'বনস্পতি'তে প্রায় সবটুকুই ফ্যাট। ইহাদের 100 গ্রামের ক্যালরিমূল্য প্রায় 900 কিলোক্যালরি। সরিষা, তিল, বাদাম, রেপসীড প্রভৃতির তৈলে অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড বেশি থাকে ; এগুলিতে অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিডও পাওয়া যায়। নারিকেল তৈলে অসংপৃক্ত বা অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড প্রায় নাই বলিলেই চলে ; 'বনস্পতি'তেও ইহাদের পরিমাণ স্বাভাবিক উদ্ভিজ্জ তৈলের তুলনায় অনেক কম। উদ্ভিজ্জ তৈলে পর্যাপ্ত পরিমাণে ভিটামিন ই এবং অল্প পরিমাণে পটাসিয়াম প্রভৃতি ধাতুর লবণ বর্তমান, কিন্তু কার্বোহাইড্রেট, প্রোটিন, ভিটামিন সি, ক্যারোটিন, ভিটামিন এ, বি-বর্গীয় ভিটামিন, ভিটামিন ডি এবং কে প্রায় নাই। 'বনস্পতি' উৎপাদনের সময়ে তাহাতে আউন্সপ্রতি 700 আই.ইউ. ভিটামিন এ এবং 50 আই ইউ. ভিটামিন ডি মিশাইয়া দেওয়া হয়।

বাঙ্গালীর রান্নায় সরিষাবাটা যথেষ্ট ব্যবহৃত হয়—সরিষার তৈলবীজে প্রায় 40% ফ্যাট, 24% কার্বোহাইড্রেট, 20% প্রোটিন এবং কিছু থিয়ামিন, রাইবোফ্ল্যাভিন, লৌহ, ক্যালসিয়াম, ফসফরাস প্রভৃতি আছে। নানাপ্রকার মিষ্টান্নে ও রান্নায় নারিকেলের শাঁস ব্যবহৃত হয়—ইহাতে ফ্যাটের পরিমাণ শতকরা 40 ভাগেরও অধিক। চীনাবাদাম ভাজাও গাঢ় খাদ্য—ইহাতে প্রায় 40% ফ্যাট, 32% প্রোটিন এবং কিছু থিয়ামিন, নিকোটিনঅ্যামাইড, বায়োটিন প্রভৃতি ভিটামিন থাকে।

মাখন ও ঘি : এই দুই খাদ্যে যথাক্রমে প্রায় 80% ও 92-99% ফ্যাট এবং যথেষ্ট পরিমাণে ভিটামিন এ বর্তমান। 100 গ্রাম মাখন ও 100 গ্রাম টাটকা ঘিয়ের ক্যালরিমূল্য যথাক্রমে প্রায় 720-730 এবং 820-890 কিলোক্যালরি। 100 গ্রাম ঘিয়ে প্রায় 0.6-0.9 মিলিগ্রাম ভিটামিন এ থাকে এবং সমপরিমাণ মাখনে ঐ ভিটামিনের পরিমাণ প্রায় 0.8-1.2 মিলিগ্রাম। কিন্তু উভয় খাদ্যেই বি-বর্গীয় ভিটামিনগুলি, ভিটামিন সি, অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড, লৌহ প্রভৃতির অভাব আছে। ঘিয়ে ক্যালসিয়ামও নাই।

গুড়, চিনি, মধু ও জ্যাম : এগুলি শর্করাপ্রধান গাঢ় (concentrated) খাদ্য। আখের গুড়, শাদা চিনি ও লাল চিনিতে যথাক্রমে প্রার 59.5%, 99.4% এবং 96% সুক্রোজ নামক শর্করা থাকে ; মধুতে প্রায় 79.5% কার্বোহাইড্রেট—মধুর কার্বোহাইড্রেট প্রধানতঃ ফ্রুক্টোজ, গ্লুকোজ ও ডেক্সট্রিন। শাদা চিনিতে অন্য খাদ্যবস্তু নাই বলিলেই চলে ; কিন্তু গুড় ও লাল চিনিতে পটাসিয়াম,

ক্যালসিয়াম প্রভৃতি ধাতুর লবণ বর্তমান। গুড়ে বায়োটিন, প্যাণ্টোথেনিক অ্যাসিড প্রভৃতি বি-বর্গীয় ভিটামিনও থাকে। মধুতেও কিছু অজৈব লবণ, ভিটামিন এবং যৎসামান্য প্রোটিন বর্তমান। বিভিন্ন ফলের জ্যামে প্রায় 60-70% শর্করা এবং পেক্‌টিন নামক পলিস্যাকারাইড বর্তমান।

সারণী 21.3. বিভিন্ন খাদ্যের প্রতি 100 গ্রামে কয়েকটি উপাদানের গড় পরিমাণ (নানা সূত্র হইতে সংগৃহীত)।

খাদ্য	কার্বো-হাইড্রেট গ্রাম	ফ্যাট গ্রাম	প্রোটিন গ্রাম	ক্যাল-সিয়াম মিলিগ্রাম	লৌহ মিলিগ্রাম	ক্যালরি-মূল্য
আতপ চাল	78.2	0.5	6.9	10	3 0	345
সিদ্ধ চাল	78.9	0.4	6.5	9	3.5	345
চিঁড়া	77.3	1.1	6.5	20	18.0	345
খই	74.0	0.1	7.3	22	6.5	326
গম	71.5	1.4	11.6	40	5.0	345
আটা	69.6	1.5	12.0	46	10.0	340
ময়দা	75.7	1.0	10.9	15	1.5	355
সুজি	75.0	0.9	10 5	15	1.8	350
মুগ ডাল	59.6	1.3	24.8	72	8.0	349
মুসুর	58.7	0.6	25.0	70	4.5	340
কলাই	60.4	1.3	24.2	145	9.0	350
ছোলা ডাল	59.5	5.5	20.2	55	9.0	368
গোদুগ্ধ	5.0	4.0	3.4	120	0.1	69
মহিষদুগ্ধ	5.0	8.0	4.5	200	0.1	110
ছাগদুগ্ধ	4.6	4.6	3.5	165	0.1	74
নারীদুগ্ধ	7.1	3.8	1.4	30	0.1	68
দই	3.0	4.0	3.0	150	—	60
ছানা	3.0	18.0	22.0	165	—	262
মাখন	0.4	80.0	0.7	20	—	724
পনির, চেড্ডার	2.0	32.2	24.0	720	1.0	394
ঘি	—	98.0	—	—	—	882
সরিষা বা বাদাম তেল	—	100.0	—	—	—	900
বনস্পতি	—	100 0	—	—	—	900
আখের গুড়	59 5	—	0.5	160	8.8	240
শাদা চিনি	99.4	—	0.1	—	—	398
লাল চিনি	96.0	—	0.1	80	2.5	384
মধু	79.5	—	0.5	5	0.9	320
ডিম	0.7	12.2	12.6	60	2.0	163

সারণী 21.3—পূর্বানুবৃত্তি

খাদ্য	কার্বো-হাইড্রেট গ্রাম	ফ্যাট গ্রাম	প্রোটিন গ্রাম	ক্যাল-সিয়াম মিলিগ্রাম	লোহ মিলিগ্রাম	ক্যালরি মূল্য
ডিমের কুসুম	0.7	32.0	16.2	150	7.1	356
ইলিশ	3.0	19.5	21.7	175	2.0	274
রুই	4.3	1.3	16.3	25	0.8	94
পমফ্রেট	3.5	1.0	16.8	30	0.7	90
বাগদা চিংড়ি	0.5	0.3	20.5	88	0.7	87
পাঁঠার মাংস	0.2	13.0	18.8	10	2.3	193
মেটে	1.5	7.3	19.5	10	5.8	150
মুরগির মাংস	0.1	0.5	25.8	24	—	108
আলু	20.3	0.1	2.0	10	0.5	90
রাঙা আলু	28.3	0.2	1.3	20	0.7	120
গাজর	11.3	0.1	1.0	80	2.0	50
পিঁয়াজ	11.4	—	1.1	178	0.8	50
বেগুন	3.9	0.2	1.4	16	1.0	23
ফ্রেন্চ্ বীন	4.3	0.1	1.8	50	1.4	25
করলা	4.0	0.1	1.8	20	1.5	24
ফুলকপি	4.6	0.2	2.4	35	1.2	30
বাঁধাকপি	4.7	0.1	1.6	40	0.6	26
পালং	3 0	0.4	2.2	70	11.0	24
কলমিশাক	3.5	0.3	2.6	108	4.0	27
পাকা পেঁপে	6.8	0.1	0.5	15	0.4	30
পাকা টোম্যাটো	3.8	0.2	1.0	46	0.3	21
কলা	24.5	0.1	1.0	10	0.6	103
মুসাম্বি	10.0	0.2	0.8	42	0.5	45
কমলালেবু	11.8	0.2	0.8	50	0.1	52
আম	11.8	0.1	0.5	10	0.5	50
পেয়ারা	11.3	0.2	0.8	10	1.5	50

[illegible]

নানা প্রকার খাদ্যবস্তুর অভাবে বিভিন্ন অপুষ্টি রোগের আক্রমণ ঘটে।

I. প্রোটিন ও ক্যালরির অভাব :

ভারত, দক্ষিণপূর্ব এশিয়া, বাংলাদেশ, শ্রীলংকা, ব্রহ্মদেশ, পশ্চিম আফ্রিকা এবং মধ্য ও দক্ষিণ আমেরিকায় প্রোটিন ও ক্যালরির অভাবজনিত রোগের প্রকোপ দেখা যায়।

1. কোয়াশিয়রকর : শিশুর খাদ্যে কেবল প্রোটিনের গুরুতর অভাব

ঘটিলে এবং সেইসঙ্গে ক্যালরির অভাব না থাকিলে কোয়াশিয়রকর রোগ দেখা দেয়। সাধারণতঃ শিশুর বয়স এক বৎসর অতিক্রম করার পরে দ্বিতীয় সন্তানের জন্মের জন্য বা অন্য কোনও কারণে তাহাকে মাতৃদুগ্ধ হইতে বঞ্চিত করিয়া কার্বোহাইড্রেট-প্রধান ও প্রোটিনবিরল খাদ্য খাওয়াইয়া রাখিলে কোয়াশিয়রকরের আক্রমণ ঘটে। এই রোগে দেহে প্রোটিনের উৎপাদন কমিয়া বৃদ্ধি অত্যন্ত হ্রাস পায় বা সম্পূর্ণ বন্ধ হয়, প্রোটিন হারাইয়া পেশীগুলি শীর্ণ ও দুর্বল হইয়া পড়ে, প্রোটিন সংশ্লেষণ বন্ধ হওয়ায় ত্বকে নানাপ্রকার ক্ষত দেখা দেয়, চুল পাংশুবর্ণ, ভঙ্গুর ও কর্কশ হইয়া উঠিয়া যাইতে থাকে, রক্তরসে সিরাম অ্যালবুমিনের মাত্রাল্পতা ঘটিয়া ও উহার অভিস্রবণ-প্রেষ (osmotic pressure) কমিয়া হাত, পা ও অন্যান্য কলায় জল জমে (রসস্ফীতি, edema), প্রোটিনের অভাবে হিমোগ্লোবিনের সংশ্লেষণ কমিয়া রক্তাল্পতা বা অ্যানিমিয়া দেখা দেয়, মস্তিষ্কের বৃদ্ধি ও বিকাশে ব্যাঘাত জন্মিয়া বুদ্ধি ও অন্যান্য মানসিক বৃত্তির বিকাশ ক্ষতিগ্রস্ত হয়, রোগ প্রতিরোধশক্তি হ্রাস পায়, প্রোটিনের অপ্রতুলতার ফলে পৌষ্টিক নালীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী ও অগ্ন্যাশয়ের কোষ্টকগুলি (acini) ভাঙ্গিয়া পড়িতে থাকে, ঐ সকল অঙ্গ হইতে এনজাইমের ক্ষরণও কমিয়া যায়, ইহার ফলে খাদ্যের পরিপাক ও শোষণ বিপর্যস্ত হইয়া তীব্র উদরাময় দেখা দেয়, যকৃতে চর্বি জমিতে পারে এবং দেহে ঋণাত্মক নাইট্রোজেন-সাম্য (negative nitrogen balance) দেখা দেয়। প্রোটিনসমৃদ্ধ খাদ্য খাওয়াইয়া চিকিৎসা না করিলে পরিণামে শিশুর মৃত্যু ঘটিতে পারে।

2. **ম্যারাস্‌মস্‌ :** প্রোটিনের সহিত মোট ক্যালরিরও অভাব ঘটিলে ম্যারাস্‌মস্ রোগ দেখা দেয়। সাধারণতঃ শিশুর এক বৎসর বয়স হইবার পূর্বেই তাহাকে মাতৃস্তন্যের পরিবর্তে প্রোটিন ও ক্যালরির দিক দিয়া পুষ্টিহীন খাদ্য খাওয়াইয়া রাখিলে অথবা অস্বাস্থ্যকর পরিবেশ বা খাদ্য হইতে জীবাণুসংক্রমণের ফলে উদরাময় বা গ্যাস্ট্রোএন্টেরাইটিস হইয়া খাদ্যের পরিপাক ও শোষণ ব্যাহত হইলে ম্যারাস্‌মসের আক্রমণ ঘটে। অনেক সময়ে কিছুদিন কোয়াশিয়রকরে ভুগিবার পরে শিশু ম্যারাস্‌মসে আক্রান্ত হইতে পারে। এই রোগে দেহের বৃদ্ধি বন্ধ হইয়া রোগী অত্যন্ত দুর্বল, ক্ষীণকায় ও অস্থিচর্মসার হইয়া পড়ে, পেশীগুলি অত্যন্ত শীর্ণ হইয়া যায়, দেহের কোথাও, এমনকি উপত্বকেও (subcutaneous tissue) মেদ বা চর্বির লেশমাত্র চোখে পড়ে না, ফলে ত্বক শুখাইয়া কর্কশ ও কুঞ্চিত হইয়া পড়ে, হাতপা অত্যন্ত শীর্ণ ও অস্থিসার হইয়া যায়, পর্শুকাগুলি (ribs) স্পষ্ট হইয়া ওঠে, অ্যানিমিয়া হয়, রক্তশর্করার মাত্রাল্পতা ঘটে, পৌষ্টিক নালীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী ও অগ্ন্যাশয়ের কোষ্টকগুলি (acini) ভাঙ্গিয়া পড়িতে

থাকায় খাদ্যের পরিপাক ও শোষণ বন্ধ হইয়া তীব্র উদরাময় দেখা দেয়, ঋণাত্মক নাইট্রোজেন-সাম্য সৃষ্ট হয় এবং যকৃতের বিকার (hepatic cirrhosis) ঘটিতে পারে ; কিন্তু কোয়াশিয়রকরের মত এক্ষেত্রে যকৃতে চর্বি জমে না, হাত-পা বা অন্য কোনও অঙ্গে জল জমিয়া রসস্ফীতিও ঘটে না ।

II. ভিটামিনের অভাব :

বিভিন্ন ভিটামিনের অভাবজনিত রোগগুলির মধ্যে স্কার্ভি, বেরিবেরি, রিকেট্‌স্, অস্টিওম্যালাশিয়া, পেলাগ্রা, রাত্রান্ধতা, জেরপ্‌থ্যাল্‌মিয়া এবং নানা প্রকার অ্যানিমিয়াই প্রধান ।

1. **স্কার্ভি :** খাদ্যে অ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিডের অভাবে এই রোগ হয় । অ্যাস্‌কর্বিক অ্যাসিড কলার অন্তরকোষ (intercellular) বস্তুর কোলাজেন অণুতে প্রোলিন অংশগুলির হাইড্রক্সিলেশনে সাহায্য করিয়া কোলাজেনকে সুদৃঢ় করে । সেজন্য এই ভিটামিনটির অভাবে অস্থির অস্টিঅয়েড, দাঁতের দন্তাস্থি, অ্যারিওলার যোগকলা প্রভৃতিতে অন্তরকোষ বস্তুর উৎপাদন, বলিষ্ঠতা ও স্বাভাবিকতা ব্যাহত হয় । ফলে স্কার্ভি রোগে অস্থির দৌর্বল্য, বেদনা ও ভঙ্গুরতা, মাড়িতে স্ফীতি ও রক্তপাত, দাঁত পড়িয়া যাওয়া, কৈশিক নালীর ভঙ্গুরতা (capillary fragility), ক্ষত নিরাময়ে বিলম্ব, সন্ধিগুলিতে (joints) বেদনা ও রক্তপাত প্রভৃতি লক্ষণ দেখা দেয় । অধিক পরিমাণে ভিটামিন সি সেবনে রোগ নিরাময় হয় ; নিয়মিত তাজা টক ফল ও শাকসবজি আহার করিলে স্কার্ভি নিবারিত হয় ।

2. **বেরিবেরি :** মুখ্যতঃ থিয়ামিনের অভাবে এই রোগ হইয়া থাকে । ফিলিপ্পিন, বাংলাদেশ, ব্রহ্মদেশ, শ্রীলংকা, ভিয়েটনাম, ইন্দোনেশিয়া, মালয়েশিয়া, থাইল্যাণ্ড প্রভৃতি যে সকল দেশে শাদা আতপ চালই খাদ্যের প্রধান উপাদান, সেইসব অঞ্চলে এবং বিশেষতঃ শিশু, গর্ভবতী নারী ও নিম্নবিত্তের মানুষের মধ্যেই বেরিবেরির প্রকোপ বেশি । থিয়ামিন পাইরোফসফেট কার্বোহাইড্রেটের বায়ব (aerobic) বিপাকে অন্যতম কোএনজাইম রূপে কাজ করে ; সেজন্য থিয়ামিনের অভাবে মস্তিষ্ক, নার্ভতন্ত্র, হৃৎপেশী, পৌষ্টিক নালীর অরেখ পেশী ও গ্রন্থি প্রভৃতি কলায় কার্বোহাইড্রেটের বায়ব জারণের মাধ্যমে শক্তি উৎপাদন ব্যাহত হয় । ইহার জন্যই বেরিবেরি রোগে নার্ভতন্ত্র, হৃৎপেশী, পৌষ্টিক নালী প্রভৃতি কলায় প্রদাহ বা ক্ষত উৎপন্ন হয় এবং তাহাদের ক্রিয়া বিপর্যস্ত হয় । বেরিবেরি প্রধানতঃ তিন প্রকার : (*a*) **শুষ্ক বেরিবেরি** : এই রোগে কেন্দ্রীয় নার্ভতন্ত্রে ও প্রান্তীয় (peripheral) নার্ভে মায়ালিন আচ্ছাদনী নষ্ট হইয়া যায়,

দেহের বহু প্রান্তীয় নার্ভের প্রদাহ ঘটিয়া অঙ্গপ্রত্যঙ্গে অনুভূতির তীব্রতা বাড়ে ও বেদনা দেখা দেয়, হাতপায়ের পেশীর দৌর্বল্য ঘটিয়া অঙ্গসঞ্চালনে ব্যাঘাত ঘটে, প্রান্তীয় নার্ভগুলি পরিণামে বিনষ্ট হইয়া পক্ষাঘাত ও খঞ্জতা পর্যন্ত ঘটিতে পারে, পৌষ্টিক নালীর পেশীসঞ্চালন ও পাচকরসের ক্ষরণ কমিয়া গিয়া কোষ্ঠ-কাঠিন্য ও ক্ষুধাহীনতা দেখা দেয়, আহার কমিয়া দৌর্বল্য বাড়ে ও ওজন কমে, চোখের নার্ভের প্রদাহ ও পরিণামে বিনাশ ঘটিয়া অন্ধ হওয়ার আশঙ্কা দেখা দেয়, হৃৎপিণ্ডের দৌর্বল্য, উহার দক্ষিণভাগের স্ফীতি, হৃৎস্পন্দনের ত্রুটি এমনকি হৃৎস্পন্দন থামিয়া মৃত্যু ঘটিতে পারে। (*b*) **সিক্ত বেরিবেরি (wet beriberi) :** এই রোগে শুষ্ক বেরিবেরির প্রসঙ্গে বর্ণিত লক্ষণগুলির পাশাপাশি বিভিন্ন কলায় জল জমিয়া রসস্ফীতি (edema) ঘটে, ফলে হাতপা ফুলিয়া ওঠে, হৃৎপিণ্ডে জল জমিয়া হৃৎপিণ্ডের স্ফীতি ও হৃদ্‌রোগ দেখা দেয়, ইলেক্‌ট্রোকার্ডিওগ্রামে গুরুতর অস্বাভাবিকতা আবির্ভূত হয় এবং হৃদ্‌রোগের ফলে মৃত্যু ঘটিতে পারে। (*c*) **ওয়ার্নিকে-বর্ণিত বেরিবেরি (Wernicke's syndrome)** : এই রোগে পূর্ববর্ণিত লক্ষণগুলির সহিত বিশেষতঃ মস্তিষ্কের নানা স্থানে রক্তপাত ও ক্ষত এবং তজ্জনিত লক্ষণগুলিই বেশি প্রকট হইয়া ওঠে—অস্বাভাবিক উদ্বেগ, অনিদ্রা, তীব্র বিষণ্ণতা, ভ্রান্তি, দ্বিধা ও পরিণামে বুদ্ধিভ্রংশ (dementia) দেখা দেয়। অধিক পরিমাণে থিয়ামিন সেবনে রোগনিরাময় হইতে পারে। শাদা আতপ চালের পরিবর্তে লাল সিদ্ধ চাল খাইলে এবং নিয়মিতভাবে সবুজ শাকসবজি, মেটে, ডাল প্রভৃতি আহার করিলে রোগের আক্রমণ নিবারিত হয়।

3. **পেলাগ্রা :** খাদ্যে নিকোটিনঅ্যামাইড এবং ট্রিপ্‌টোফ্যানের অভাব থাকিলে এই রোগের আক্রমণ ঘটে, কারণ ট্রিপ্‌টোফ্যান হইতে দেহে কিছু নিকোটিনঅ্যামাইড সংশ্লেষিত হয়। বর্তমানে মিশর, পশ্চিম ও দক্ষিণ আফ্রিকা এবং এদেশের রাজস্থানে ভুট্টাভোজীদের মধ্যে পেলাগ্রার প্রকোপ দেখা যায়—ভুট্টায় ট্রিপ্‌টোফ্যানের অভাব আছে এবং যেটুকু নিকোটিনঅ্যামাইড আছে তাহা প্রধানতঃ বীজত্বকে থাকায় অধিকাংশই অপচয় হইয়া যায়। গুজরাট, অন্ধ্রপ্রদেশ, রাজস্থান ও মধ্যপ্রদেশে জোয়ারভোজীদের মধ্যেও এই রোগ বেশি হয়—জোয়ারে নিকোটিনঅ্যামাইডের অভাব আছে এবং লিউসিন বেশি থাকায় ট্রিপ্‌টোফ্যান হইতে ভিটামিনটির সংশ্লেষণও ব্যাহত হয়। পেলাগ্রায় ওষ্ঠ ও জিহ্বার প্রদাহ, অন্ত্র ও পাকস্থলীর গাত্রে প্রদাহ ও ক্ষত, উদরাময়, ক্ষুধাহীনতা, যকৃতে চর্বি জমা (fatty liver), মস্তিষ্ক ও সুষুম্নাকাণ্ডের ক্ষত ও বিকৃতি, চর্মরোগ প্রভৃতি দেখা দেয়। হাতপা, মুখমণ্ডল, গ্রীবা প্রভৃতির অনাবৃত ত্বক কর্কশ, শুষ্ক, পুরু ও আঁশের মত হইয়া ঘোর বাদামী বর্ণ

ধারণ করে এবং হাতের ত্বক দস্তানার মত দেখায়। জিহ্বা স্ফীত ও রক্তবর্ণ হইয়া ক্রমে শুখাইয়া যায়। মলাশয়ও (colon) শুখাইয়া যাইতে পারে। কেন্দ্রীয় নার্ভতন্ত্রে ক্ষত হইয়া মানসিক বিকার, বুদ্ধিনাশ, উদ্বেগাকুলতা, খিটখিটে ভাব এবং পরিণামে সম্পূর্ণ বুদ্ধিভ্রংশ (dementia) ঘটিয়া থাকে। উপযুক্ত পরিমাণে নিকোটিনঅ্যামাইড সেবনে রোগের চিকিৎসা না করিলে মৃত্যু ঘটে।

4. **রাত্র্যন্ধতা ও জেরপ্‌থ্যাল্‌মিয়া :** খাদ্যে রেটিনল (ভিটামিন এ) এবং ক্যারোটিনের অভাব থাকিলে এই দুই রোগের আক্রমণ ঘটে। দক্ষিণ ভারত, বিহার, পশ্চিমবঙ্গ, হিমাচল প্রদেশ, শ্রীলংকা, ইন্দোনেশিয়া, ব্রহ্মদেশ, লাওস, মালয়েশিয়া, লাতিন আমেরিকা, আফ্রিকা প্রভৃতি অঞ্চলে এই রোগগুলির প্রকোপ দেখা যায়। রেটিনল হইতে উৎপন্ন রেটিনিন অক্ষিপটের (retina) দণ্ড (rod) ও শঙ্কু (cone) নামক আলোকগ্রাহী কোষগুলিতে রডপ্‌সিন, আয়োডপ্‌সিন প্রভৃতি আলোকসুবেদী (photosensitive) রঙ্গকের অপরিহার্য উপাদান ; এজন্যই দেহে রেটিনলের অভাব ঘটিলে দণ্ড কোষ-গুলিতে রডপ্‌সিনের সংশ্লেষণ কমিয়া গিয়া স্তিমিত আলোকে দেখিবার শক্তি হ্রাস পায় এবং **রাত্র্যন্ধতা** (night-blindness) ঘটে। আবার রেটিনল বিভিন্ন কলায় মিউকোপলিস্যাকারাইডের সংশ্লেষণে সাহায্য করিয়া তাহাদের সজীব ও স্বাভাবিক রাখে ; সম্ভবতঃ এজন্যই রেটিনলের অভাবে **জেরপ্‌থ্যাল্‌মিয়া** (xerophthalmia) রোগ উৎপন্ন হয়। এই রোগের প্রথম দিকে চোখের নেত্রশ্লেষ্মাঝিল্লীর (conjunctiva) স্বাভাবিক সজীব আবরক কলার স্থানে শুষ্ক, স্তরিত (stratified) ও কেরাটিনযুক্ত আবরক কলার সৃষ্টি হওয়ায় নেত্রশ্লেষ্মাঝিল্লী কুঞ্চিত, পুরু ও আর্দ্রতাহীন হইয়া যায় (xerosis conjunctivae) এবং জীবাণু-সংক্রমণের ফলে উহার প্রদাহ ঘটিয়া চোখ ওঠে (conjunctivitis)। ক্রমে অচ্ছোদপটলে (cornea) সজীব ও স্বচ্ছ আবরক কলার পরিবর্তে স্তরিত কেরাটিনযুক্ত কলার সৃষ্টি হইয়া অচ্ছোদপটল আর্দ্রতাবিহীন, অনুজ্জ্বল, ধোঁয়াটে ও অনুভূতিহীন হইয়া পড়ে (xerosis cornea)। ক্রমশঃ অচ্ছোদপটল কোমল ও অনচ্ছ (opaque) হইয়া গিয়া তাহার স্থানে স্থানে ক্ষত (ulcer) দেখা দেয় এবং দৃষ্টিহীনতা ঘটে। সর্বশেষে অচ্ছোদপটল গলিয়া যায় ; অনেক সময়ে কনীনিকা (iris) ও লেন্‌স্ বাহির হইয়া আসে। রোগের সূচনাতেই রেটিনল সেবনে রোগলক্ষণ দূর করা যায়। খাদ্যে দুধ, মাখন, দই, সবুজ শাকপাতা এবং হলুদ সবজি ও ফলের সম্পূর্ণ অভাব থাকিলে এই রোগের আশঙ্কা প্রবল থাকে। পশ্চিমবঙ্গ, বিহার, ওড়িশা, মধ্যপ্রদেশ, তামিলনাড়ু, কেরল, কর্ণাটক,

অন্ধ্রপ্রদেশ, বাংলাদেশ, ব্রহ্মদেশ, মালয়েশিয়া, শ্রীলংকা প্রভৃতি অঞ্চলে বহু শিশু এই রোগের আক্রমণে দৃষ্টিশক্তি হারায়।

5. **রিকেট্‌স্‌ ও অস্টিওম্যালাশিয়া :** ভিটামিন ডি-এর অভাবে শৈশব ও বাল্যে রিকেট্‌স্ এবং বয়ঃপ্রাপ্তির পরে অস্টিওম্যালাশিয়া হইতে পারে। ভিটামিন ডি অস্থি ও দন্তে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের অবক্ষেপণকে (deposition) অব্যাহত রাখে। এজন্যই ঐ ভিটামিনের অভাবজনিত রিকেট্‌স্ রোগে অস্থি ও দন্তে ঐ খনিজ উপাদানগুলির পরিমাণ কমিয়া যায়, অস্থির বৃদ্ধি হ্রাস পায়, হাতপায়ের অস্থি শীর্ণ, দেহভারে ধনুকের মত বাঁকা ও ভঙ্গুর হইয়া পড়ে, দীর্ঘ অস্থির প্রান্তীয় তরুণাস্থি (cartilage) অস্থিতে রূপান্তরের পরিবর্তে ক্রমাগত বাড়িয়া মনিবন্ধ, হাঁটু প্রভৃতি সন্ধি (joint) ও পর্শুকার (rib) প্রান্ত ফুলিয়া ওঠে, দাঁত উঠিতে বিলম্ব হয়, অন্ত্র হইতে ক্যালসিয়াম ও ফসফেটের শোষণ হ্রাস পায় এবং শিশুর ব্রহ্মতালুতে করোটির (cranium) অস্থিগুলির বৃদ্ধি ও পরস্পর মিলন বিলম্বিত হয়। শিশুকে কড, হ্যালিবাট বা হাঙ্গরের যকৃতের ডি-সমৃদ্ধ তেল খাওয়াইলে এবং নিয়মিত সূর্যালোকে রাখিয়া তাহার ত্বকে ডি$_3$ সংশ্লেষণের সুযোগ দিলে রিকেট্‌সের আশঙ্কা থাকে না।

ভারতের নানা রাজ্যে বিশেষতঃ পর্দানসীন অন্তঃপুরচারিণী খনিশ্রমিক, বহুপ্রসবা নারী, নিয়মিত রাতের পালার প্রেসকর্মী প্রভৃতির মধ্যে অস্টিও-ম্যালাশিয়া দেখা যায়। এক্ষেত্রেও রিকেট্‌সের মতই অস্থিতে ক্যালসিয়াম লবণের পরিমাণ কমিয়া অস্থিগুলি শীর্ণ, দুর্বল, বক্র, বিকৃতাকার ও ভঙ্গুর হইয়া পড়ে। বিভিন্ন অস্থিতে মৃদু হইতে তীব্র বেদনা দেখা দেয়। দেহভারে পা ও মেরুদণ্ড ধনুকের মত বাঁকিয়া যায়। পেশী অত্যন্ত দুর্বল হইয়া চলাফেরা, সিঁড়িতে ওঠানামা প্রভৃতি ক্রিয়া অত্যন্ত কষ্টসাধ্য হইয়া পড়ে। ভিটামিন ডি সেবনে রিকেট্‌স্ ও অস্টিওম্যালাশিয়া, উভয় রোগই নিরাময় হয়।

6. **রক্তপাত রোগ :** ভিটামিন কে-র অভাবে রক্ততঞ্চন বিলম্বিত হইয়া অনিয়ন্ত্রিত রক্তপাতের প্রবণতা দেখা দেয়—রক্তে রক্ততঞ্চনসহায়ক প্রোথ্রম্বিনের পরিমাণ খুব কমিয়া যায় এবং সামান্য আঘাতে বা আপাতদৃষ্টিতে কোনও আঘাত ব্যতীতই রোগীর দেহের নানাস্থানে প্রচুর রক্তপাত ঘটিতে পারে। ভিটামিন কে যকৃতে প্রোথ্রম্বিন এবং অন্য কয়েকটি রক্ততঞ্চনসহায়ক গ্লোবিউ-লিনের সংশ্লেষণের সময়ে তাহাদের অণুতে গ্লুটামেট বর্গকে গামা-কার্বক্সি-গ্লুটামেটে পরিণত করিতে সাহায্য করিয়া ঐ প্রোটিনগুলির রক্ততঞ্চনসহায়ক

গুণকে বিকশিত করিয়া তোলে। সেজন্যই এই ভিটামিনটির অভাবে প্রোথ্রম্বিন, খ্রীস্টমাস ফ্যাক্টর প্রভৃতি গ্লোবিউলিনের রক্ততঞ্চনসহায়ক ক্রিয়া ব্যাহত হইয়া অনিয়ন্ত্রিত রক্তপাতের প্রবণতা জন্মায়। স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্কের দেহে ভিটামিন কে-র অভাব বড় একটা দেখা যায় না, কারণ খাদ্যে এই ভিটামিনটির অভাব ঘটিলেও আন্ত্রিক জীবাণুর ক্রিয়ায় দেহের পক্ষে পর্যাপ্ত ভিটামিন কে সংশ্লেষিত হইয়া থাকে। কিন্তু নবজাত শিশুর অন্ত্রে জীবাণুর ক্রিয়া খুব কম, তাহা ছাড়া তাহার স্বাভাবিক খাদ্যে অর্থাৎ মাতৃস্তন্যে ভিটামিন কে-র পরিমাণ অল্প; সেজন্য নবজাতকের প্রায়ই এরূপ রক্তপাত রোগের সম্ভাবনা থাকে। আজকাল গর্ভবতী নারীকে বেশি পরিমাণে ভিটামিন কে সেবন করাইয়া একদিকে সন্তানপ্রসবের সময়ে তাহার অতিরিক্ত রক্তপাতের আশঙ্কা নিবারণ করা হয়, অন্যদিকে মাতার রক্ত হইতে গর্ভস্থ শিশুর রক্তে ভিটামিন কে-র প্রবেশ বাড়াইয়া জন্মের পরে শিশুর রক্তপাত রোগ নিবারণের চেষ্টা করা হয়।

7. **অ্যানিমিয়া বা রক্তাল্পতা :** বিভিন্ন ভিটামিনের অভাবে ভিন্ন ভিন্ন কারণে অ্যানিমিয়া দেখা দিতে পারে। অ্যাস্কর্বিক অ্যাসিড খাদ্যের ফেরিক আয়নকে ফেরাস আয়নে বিজারিত (reduced) করিয়া লৌহের শোষণে সাহায্য করে; লৌহ হিমোগ্লোবিনের অপরিহার্য উপাদান বলিয়া অ্যাস্কর্বিক অ্যাসিডের অভাবজনিত স্কার্ভি রোগে লৌহের শোষণ ব্যাহত হইয়া মাইক্রো-সাইটিক অ্যানিমিয়া উৎপন্ন হয়—এই রোগে রক্তে লোহিত কণিকার আয়তন ও সংখ্যা এবং হিমোগ্লোবিনের পরিমাণ হ্রাস পায়। পাইরিডক্সিন-ঘটিত কোএনজাইম পাইরিডক্সাল ফসফেট দেহে হিমোগ্লোবিন সংশ্লেষণের প্রথম পদে ডেল্টা-অ্যামাইনোলেভিউলিনেট উৎপাদনে সাহায্য করে; এজন্যই পাইরিডক্সিনের অভাবে শিশুর দেহে হিমোগ্লোবিনের সংশ্লেষণ ব্যাহত হইয়া মাইক্রোসাইটিক অ্যানিমিয়া দেখা দেয়।

ফোলিক অ্যাসিড-ঘটিত টেট্রাহাইড্রোফোলেট কোএনজাইমগুলি C_1-বর্গের স্থানান্তরণে সাহায্য করিয়া ডি.এন.এ. সংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে; এজন্যই ফোলিক অ্যাসিডের অভাবে বিকাশমান লোহিত কণিকার ডি এন এ. সংশ্লেষণে ব্যাঘাত ঘটিয়া মেগালোব্লাস্টিক অ্যানিমিয়া উৎপন্ন হয়। এই রোগে লোহিত রক্তকণিকার বিকাশ ও সুপরিণতি ব্যাহত হইয়া রক্তে বৃহৎ নিউক্লিয়াস-বিশিষ্ট, ক্ষারগ্রাহী ও অতিকায় আয়তনের মেগালোব্লাস্ট নামক অস্বাভাবিক ও অপরিণত লোহিত কণিকা আবির্ভূত হয়—ঐ কোষগুলিতে হিমোগ্লোবিন প্রায় থাকে না বলিলেই চলে।

ভিটামিন বি$_{12}$-ঘটিত কোব্যামাইড কোএনজাইম থাইমিন নামক

পিরিমিডিনের সংশ্লেষণে সাহায্য করিয়া ডি.এন.এ. সংশ্লেষণ সম্ভবপর করে ; পাকস্থলী-রসে ক্যাস্‌ল্‌-বর্ণিত আভ্যন্তরীণ উপাদান (Castle's intrinsic factor) ক্ষরিত না হইলে খাদ্যের ভিটামিন বি$_{12}$ অন্ত্র হইতে শোষিত হইতে পারে না, ফলে দেহে তাহার অভাব ঘটিয়া পার্নিশিয়াস অ্যানিমিয়া রোগ উৎপন্ন হয়। এই রোগে রক্তে স্বাভাবিক লোহিত রক্তকণিকার সংখ্যা খুব কমিয়া যায়, পরিবর্তে বহু বৃহৎ ও নিউক্লিয়াসবিশিষ্ট লোহিত কণিকা (ম্যাক্রোসাইট) এবং ক্ষারধর্মী, নিউক্লিয়াসবিশিষ্ট, হিমোগ্লোবিনবিহীন ও অতিকায় লোহিত কণিকা (মেগালোব্লাস্ট) রক্তে আবির্ভূত হয়। সুষুম্নাকাণ্ডে নার্ভতন্তুর মায়ালিন আচ্ছাদনী নষ্ট হইয়া গিয়া বিভিন্ন প্রান্তীয় অঙ্গ ও কলায় অনুভূতি হ্রাস বা লোপ পায়। রক্তে ভিটামিন বি$_{12}$ ইন্‌জেক্‌শন দিয়া এই রোগকে নিয়ন্ত্রণে না আনিলে অচিরে রোগীর মৃত্যু ঘটে।

III. অজৈব লবণের অভাব :

1. মাইক্রোসাইটিক অ্যানিমিয়া : খাদ্যে লৌহ বা তাম্রের অভাবে হিমোগ্লোবিন সংশ্লেষণ ও লোহিত কণিকার উৎপাদন ব্যাহত হইয়া এই রোগ জন্মাইতে পারে, কারণ লৌহ হিমোগ্লোবিন অণুর অপরিহার্য উপাদান এবং তাম্র-ঘটিত সেরাম ফেরো-অক্সিডেজ এনজাইম দেহে লৌহের যথাযথ বিপাকের জন্য অপরিহার্য। লৌহ বা তাম্রের অভাবজনিত অ্যানিমিয়ায় রক্তে লোহিত রক্তকণিকার সংখ্যা ও আয়তন এবং তাহাদের মধ্যে হিমোগ্লোবিনের পরিমাণ অস্বাভাবিক হ্রাস পায়। লৌহঘটিত লবণ এবং তাহার সহিত খুব সামান্য পরিমাণে তাম্র-ঘটিত যৌগ সেবনে এরূপ অ্যানিমিয়া নিরাময় হয়। কেরল, অন্ধ্রপ্রদেশ, তামিলনাড়ু, কর্ণাটক, পশ্চিমবঙ্গ, ওড়িশা প্রভৃতি রাজ্যে এই রোগের প্রকোপ দেখা যায়।

2. আয়োডিনের অভাবজনিত গলগণ্ড : খাদ্য ও পানীয়ে আয়োডিনের অভাব থাকিলে থাইরয়েডের আয়তন অস্বাভাবিক বাড়িয়া গলগণ্ডের (goiter) সৃষ্টি হয়। সমুদ্র হইতে দূরে পার্বত্য অঞ্চলের মাটিতে আয়োডাইড কম থাকায় ঐ সকল অঞ্চলে এই রোগের প্রকোপ বেশি। উত্তর ও পূর্ব ভারতের রাজ্যগুলির হিমালয়সন্নিহিত পার্বত্য অঞ্চলে, নেপাল ও ভুটানে, ইওরোপের আল্পস্‌ অঞ্চলে এবং দক্ষিণ আমেরিকার অ্যাণ্ডিস্‌ পর্বতীয় অঞ্চলে বহু অধিবাসীর এরূপ গলগণ্ড দেখা যায়। খাদ্যে আয়োডাইডের অভাব থাকিলে থাইরয়েডের আয়োডিন-ঘটিত হর্মোন থাইরক্সিনের ক্ষরণ অস্বাভাবিক কমিয়া যায়, ফলে একদিকে রক্তে প্রোটিনাবদ্ধ আয়োডিন (PBI)

খুব হ্রাস পায় এবং দেহে থাইরক্সিনের অভাবজনিত রোগলক্ষণ দেখা দেয়, আবার অন্যদিকে রক্তে থাইরক্সিনের মাত্রাল্পতার প্রভাবে পিটুইটারি হইতে থাইরয়েড-উদ্দীপক (থাইরোট্রোপিক) হর্মোনের ক্ষরণ বাড়ে এবং তাহার প্রভাবেই থাইরয়েডের আয়তন বাড়িয়া গলগণ্ড হয়। আহার্য লবণের সহিত আয়োডাইড মিশাইয়া নিয়মিত খাইতে দিয়া ইওরোপ ও আমেরিকায় এই রোগের প্রকোপ অনেকাংশে নিয়ন্ত্রণ করা হইয়াছে।

21.12 খাদ্য নির্ধারণ

স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্কের খাদ্য : স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্ক ব্যক্তির দৈনিক আহার্যে প্রয়োজনীয় ক্যালরির পরিমাণ প্রধানতঃ তাহার মৌল বিপাকহার (BMR), বয়স, শ্রমের গুরুত্ব প্রভৃতির উপরে নির্ভর করে।

ঘুমের সময়ে সাধারণতঃ মৌল বিপাকহারের 90% হারে শক্তিব্যয় হইয়া থাকে। জাগ্রত অবস্থায় সম্পূর্ণ বিশ্রামরত থাকিলে মৌল বিপাকহারের মত পরিমাণে শক্তিব্যয় হয়। নারীর মৌল বিপাকহার সমবয়স্ক এবং সমান ওজনবিশিষ্ট পুরুষের তুলনায় 8-10% কম, সেজন্য ঘুম ও বিশ্রামের সময়েও নারীর তুলনায় পুরুষের শক্তিব্যয়ের পরিমাণ অধিক। প্রৌঢ়ত্ব ও বার্ধক্যে নারীপুরুষ উভয়েরই মৌল বিপাকহার প্রতি 10 বৎসরে গড়ে প্রায় 7.5% হারে কমিতে থাকে; অতএব যৌবনের তুলনায় বার্ধক্যে ক্যালরির প্রয়োজনীয়তা হ্রাস পায়। শৈত্যে মৌল বিপাকহার বাড়ে এবং শীতল পরিবেশে দেহ হইতে তাপক্ষয় সত্ত্বেও দেহতাপকে অপরিবর্তিত রাখিতে অধিক শক্তি উৎপাদনের প্রয়োজন হয়; এজন্য উষ্ণ আবহাওয়ার তুলনায় তীব্র শীতে আহার্যে ক্যালরির প্রয়োজনীয়তা অনেক বাড়িয়া যায়।

জাগ্রত অবস্থায় কাজকর্মের জন্য মৌল বিপাকহারের অতিরিক্ত বেশ কিছু শক্তি ব্যয় হইয়া থাকে। দিনের কিছু সময় স্নানাহার, দাড়ি কামানো, কেশচর্চা, বেশপরিবর্তন প্রভৃতি নিত্যকর্মে এবং তৎসংশ্লিষ্ট ওঠাবসা ও সামান্য চলাফেরায় ব্যয়িত হয়; এসকল অপেক্ষাকৃত লঘু নিত্যকর্মে প্রতি কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য ঘণ্টায় গড়ে 3-4 কিলোক্যালরি শক্তি ব্যয় হয়। হাটবাজার করা, কাপড়চোপড় কাচা, কর্মস্থলে বা অন্যত্র পদব্রজে বা সাইকেলে যাতায়াত, সিঁড়িতে ওঠানামা প্রভৃতি অল্পাধিক পরিশ্রমের কাজও বেশ কিছুক্ষণ করিতে হয়; এসকল কাজে শ্রমের গুরুত্ব অনুযায়ী কিলোগ্রাম-প্রতি ঘণ্টায় 3-16 কিলোক্যালরি শক্তির প্রয়োজন হয়। পেশা অনুযায়ী 6-10 ঘণ্টা লঘু, মধ্যম বা কঠিন শ্রমের কাজে নিয়োজিত থাকিতে

হয় ; শ্রমের গুরুত্ব অনুযায়ী এসকল পেশাগত কাজে শক্তিব্যয়ের দৃষ্টান্ত নিম্নরূপ (কিলোক্যালরি / কিলোগ্রাম / ঘণ্টা) : টাইপ করা, খাতা লেখা, রসায়নশালায় পরীক্ষানিরীক্ষা, সেলাই করা, রান্নাবান্না করা বা কুটনা কোটা : 1.7-3.4, ছুতার, রং-মিস্ত্রী, ডাকহরকরা, কৃষক, বাসনমিস্ত্রী প্রভৃতি মধ্যম শ্রমের পেশা : 3.5-5.5 ; পাথরভাঙ্গা, কাঠচেরাই, মোট-বওয়া, রিকশা টানা প্রভৃতি কঠিন শ্রমের পেশা : 6-10 । তাহা ছাড়া চিত্তবিনোদন বা শারীরিক ব্যায়ামের জন্য অবসর সময়ের অনেকটা অংশই অল্পাধিক শ্রমের কাজে অতিবাহিত হয় ; এসকল কাজে শক্তিব্যয়ের দৃষ্টান্ত নিম্নরূপ (কিলোক্যালরি / কিলোগ্রাম / ঘণ্টা) : গল্পগুজব বা তাসখেলা : 1.5-2 ; পদব্রজে সান্ধ্যভ্রমণ : 3-4 ; ক্রিকেট বা টেনিস খেলা : 4-5 ; সাঁতার, হকি বা ফুটবল খেলা : 10-12 ইত্যাদি ।

দিনের 24 ঘণ্টায় নিদ্রা, জাগরণকাল, নানা ধরনের কাজের স্থায়িত্বকাল ও ঐসকল কাজকর্মে শ্রমের গুরুত্ব বিবেচনা করিয়া খাদ্যে প্রয়োজনীয় ক্যালরির হিসাব করিতে হয় (417 পৃষ্ঠা দ্রষ্টব্য) ।

এভাবে খাদ্য হইতে যত ক্যালরি আহরণের প্রয়োজন দেখা দেয়, শোষিত খাদ্যের বিশেষ চলক্রিয়ার (SDA) জন্য শক্তিব্যয় বিবেচনা করিয়া তাহার সহিত আরও 6-10% অতিরিক্ত ক্যালরি যোগ করা উচিত ।

সাধারণতঃ মোট ক্যালরির 65-70% কার্বোহাইড্রেট হইতে পাওয়া উচিত । 1 গ্রাম কার্বোহাইড্রেটের দহনে দেহে 4 কিলোক্যালরি উৎপন্ন হয় ; অতএব মোট প্রয়োজনীয় কিলোক্যালরির প্রায় 70% পরিমাণকে 4 দিয়া ভাগ করিলে খাদ্যে কার্বোহাইড্রেটের বাঞ্ছিত পরিমাণ নির্ণীত হয় । আহার্যে মোট কার্বোহাইড্রেটের কমপক্ষে 80-85% প্রধানতঃ চাল, গম প্রভৃতি দানাশস্যের স্টার্চ হইতে এবং মাত্র অংশতঃ আলু, রাঙ্গা আলু, ট্যাপিয়োকা প্রভৃতি কন্দ বা মূলের স্টার্চ হইতে আসা বাঞ্ছনীয় ; অবশিষ্ট অনধিক 20% কার্বোহাইড্রেটের জন্য চিনি, গুড় প্রভৃতি শর্করাপ্রধান গাঢ় (concentrated) খাদ্য খাওয়া যাইতে পারে । প্রসঙ্গতঃ, দানাশস্যে কার্বোহাইড্রেট ব্যতীত যথেষ্ট বি-বর্গীয় ভিটামিন এবং কিছু প্রোটিন, ক্যালসিয়াম ও ফসফরাস থাকে, কিন্তু আলু, ট্যাপিয়োকা, চিনি প্রভৃতিতে এসকল উপাদানের অপ্রতুলতা বা অভাব আছে ; সেজন্য দানাশস্যের পরিবর্তে আলু, ট্যাপিয়োকা, রাঙ্গা আলু প্রভৃতি খাদ্যের দ্বারা কার্বোহাইড্রেটের প্রয়োজন মিটাইলে ভিটামিন, প্রোটিন ও অজৈব লবণের জন্য অধিকতর পরিমাণে ডাল, মাছমাংস ও শাকসবজি খাইতে হয় । সকল অবস্থাতেই মোট কিলোক্যালরির কমপক্ষে 20% উৎপাদনের মত পরিমাণে সুপাচ্য কার্বোহাইড্রেট দৈনিক আহার্যতালিকায়

দৈনিক আহার্যে ক্যালরির হিসাব

প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ ॥ বয়স 25, ওজন 55 কিলোগ্রাম, দেহপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল 1.5 বর্গ মিটার। মৌল বিপাকহার (BMR) 40 কিলোক্যালরি / বর্গমিটার / ঘণ্টা অথবা মোট দেহের জন্য $40 \times 1.5 = 60$ কিলোক্যালরি / ঘণ্টা। মধ্যম শ্রমী।

1. ক্যালরির প্রয়োজনীয়তা :

(*a*) $7\frac{1}{2}$ ঘণ্টা নিদ্রার সময়ে মৌল বিপাকহারের 90% হারে $= 7.5 \times 60 \times 0.9$ = 405

(*b*) 1 ঘণ্টা স্নানাহার, দাড়ি কামানো, বেশ পরিবর্তন প্রভৃতি নিত্যকর্মের জন্য 3 কিলোক্যালরি / কিলোগ্রাম / ঘণ্টা হারে $= 1 \times 3 \times 55$ = 165

(*c*) 2 ঘণ্টা পদব্রজে ভ্রমণের জন্য 3 কিলোক্যালরি / কিলোগ্রাম / ঘণ্টা হারে $= 2 \times 3 \times 55$ = 330

(*d*) $6\frac{1}{2}$ ঘণ্টা মধ্যম শ্রমের পেশায় 3.5 কিলোক্যালরি / কিলোগ্রাম / ঘণ্টা হারে $= 6.5 \times 3.5 \times 55$ = 1251

(*e*) 7 ঘণ্টা বসা, দাঁড়ানো, গল্পগুজব, তাসখেলা প্রভৃতির জন্য 1.5 কিলোক্যালরি / কিলোগ্রাম / ঘণ্টা হারে $= 7 \times 1.5 \times 55$ = 578

মোট কিলোক্যালরি	= 2729
বিশেষ চল-ক্রিয়ার জন্য অতিরিক্ত 10%	= 273
দৈনিক মোট প্রয়োজনীয় কিলোক্যালরি	3000

2. খাদ্যবস্তুর পরিমাণ :

(*a*) কার্বোহাইড্রেট : 1 গ্রাম কার্বোহাইড্রেট = 4 কিলোক্যালরি, সুতরাং 3000 কিলোক্যালরির 70% দিবার মত কার্বোহাইড্রেটের পরিমাণ $= (3000 \times 0.70) \div 4 = 525$ গ্রাম।

(*b*) প্রোটিন : প্রতি কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য 0.8 গ্রাম হিসাবে প্রোটিনের পরিমাণ $= 55 \times 0.8 = 44$ গ্রাম।

(*c*) ফ্যাট : ফ্যাট হইতে লভ্য শক্তি = (মোট কিলোক্যালরি) − (কার্বোহাইড্রেট ও প্রোটিন হইতে প্রাপ্ত কিলোক্যালরি) $= 3000 - (4 \times 525 + 4 \times 44) = 724$ কিলোক্যালরি; 1 গ্রাম ফ্যাট = 9 কিলোক্যালরি, সুতরাং ফ্যাটের পরিমাণ $= 724 \div 9 = 80$ গ্রাম।

থাকা বাঞ্ছনীয়, নচেৎ ফ্যাটের অত্যধিক জারণ ঘটিয়া কিটোনবর্গীয় পদার্থের আধিক্যের প্রবণতা দেখা দেয়। তাহা ছাড়া শাক, শালগম, মূলা প্রভৃতি সেলুলোজ-প্রধান খাদ্যও কিছু পরিমাণে আহারের প্রয়োজন, কারণ প্রধানতঃ উদ্ভিদতন্তুর দুষ্পাচ্য সেলুলোজই অশোষিত থাকিয়া মলের পরিমাণ বাড়ায় ও

কোষ্ঠকাঠিন্য নিবারণ করে ; মধুমেহ (diabetes mellitus) ও মেদবৃদ্ধি (obesity) রোগে খাদ্যে সুপাচ্য কার্বোহাইড্রেট ও ক্যালরি কমাইয়া শাকসবজি দিয়াই উদরপূর্তি ও ক্ষুন্নিবৃত্তি করিতে হয়।

স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্কের আহার্যে দৈহিক ওজনের কিলোগ্রাম-প্রতি কমপক্ষে 0 8 গ্রাম প্রোটিন থাকা আবশ্যক। অবশ্য খাদ্যে পর্যাপ্ত পরিমাণে কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাট না থাকিলে প্রোটিনের পরিমাণ ইহার তুলনায় অনেক বাড়াইতে হয়, কারণ সেক্ষেত্রে কার্বোহাইড্রেট ও ফ্যাটের প্রোটিন-সংরক্ষক (protein sparing) ক্রিয়ার অভাব ঘটিয়া শক্তি উৎপাদনে প্রোটিনের অপচয় বৃদ্ধি পায় এবং দেহে কার্বোহাইড্রেট হইতে অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংশ্লেষণও কমিয়া যায়। স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্কের দেহে কলার প্রোটিনগুলির ক্ষয়ক্ষতি পূরণ এবং নাইট্রোজেন-সাম্য রক্ষাই প্রোটিনের প্রধান কাজ। খাদ্যের মোট প্রোটিনের কমপক্ষে 30% ডিম, দুধ, মাছমাংস প্রভৃতি জান্তব খাদ্যের এবং সয়াবিনের উচ্চ জৈব মূল্যের (biological value) প্রোটিন হওয়া বাঞ্ছনীয় ; অবশিষ্ট অনধিক 70% প্রোটিন ডাল, গম, চাল, ভুট্টা, চীনাবাদাম প্রভৃতি অপেক্ষাকৃত সস্তা উদ্ভিজ্জ প্রোটিন হইলে ক্ষতি নাই। শেষোক্ত উদ্ভিজ্জ প্রোটিনগুলির জৈব মূল্য জান্তব প্রোটিনের তুলনায় অনেক কম, কারণ তাহাদের অধিকাংশের মধ্যে এক বা একাধিক অপরিহার্য (essential) অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাব আছে—গম ও ভুট্টার প্রোটিনে লাইসিন ও ট্রিপ্‌টোফ্যানের অভাব থাকায় উহাদের জৈব মূল্য যথাক্রমে মাত্র 67 ও 60, কিন্তু ডিমের প্রোটিনে সকল অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডই পর্যাপ্ত পরিমাণে থাকায় তাহার জৈব মূল্য 96। তাহা ছাড়া ডিম, দুধ, মাছ প্রভৃতির জান্তব প্রোটিন সাধারণভাবে গম, ডাল, বাদাম প্রভৃতির উদ্ভিজ্জ প্রোটিন অপেক্ষা সহজে পরিপাক ও শোষণ হয়, অর্থাৎ জান্তব প্রোটিনের পাচনাঙ্ক (digestibility coefficient) উদ্ভিজ্জ প্রোটিনের তুলনায় অধিক। এসকল কারণে খাদ্যে অন্ততঃ কিছু পরিমাণে জান্তব প্রোটিন থাকা বাঞ্ছনীয়। তাহা ছাড়া প্রতিবারের আহার্যে একাধিক উদ্ভিজ্জ প্রোটিনের অন্তর্ভুক্তি ও মিশ্রণ বাঞ্ছনীয়, কারণ সেক্ষেত্রে তাহারা পরস্পরের অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডের অভাব পূরণ করিয়া জৈব মূল্য বাড়াইতে পারে ; প্রোটিনগুলির এরূপ পরস্পর সম্পূরক (supplementary) ক্রিয়ার জন্যই ডাল-রুটি, সম্বর-ভাত, ইডলি-সম্বর, খিচুড়ি, রুটি-আলুমটর, ভাত-সয়াবিন প্রভৃতি মিশ্র নিরামিষ খাদ্যের প্রোটিন যথেষ্ট পুষ্টিকর হইয়া যায়। মেটে, মাছমাংস, ডিম, ডাল, সয়াবিন, চীনাবাদাম প্রভৃতি প্রোটিনপ্রধান খাদ্য হইতে যথেষ্ট পরিমাণে বি-বর্গীয় ভিটামিন পাওয়া যায় ; ডাল, ডিম,

মেটে ও দুধ ক্যারোটিন, ভিটামিন এ প্রভৃতিরও উল্লেখনীয় উৎস। কিন্তু ডিম আহার্যে কোলেস্টেরলেরও সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ উৎস ; সেজন্য আহার্যে ডিমের পরিমাণ এমন হওয়া উচিত যাহাতে দিনে 300 মিলিগ্রামের অধিক কোলেস্টেরল খাওয়া না হয়, নচেৎ রক্তে কোলেস্টেরলের মাত্রাধিক্যের আশঙ্কা থাকে।

মোট ক্যালরির 25-30% দিবার মত ফ্যাট আহার্যতালিকার অন্তর্ভুক্ত হওয়া উচিত। কার্বোহাইড্রেট বা প্রোটিনের তুলনায় সমপরিমাণ ফ্যাট হইতে দ্বিগুণেরও অধিক কিলোক্যালরি উৎপন্ন হয়, সেজন্য কঠিন পরিশ্রমী ব্যক্তির আহার্যে লঘু পরিশ্রমীর তুলনায় মোট ক্যালরির অধিকতর অংশ পাইবার মত ফ্যাট থাকিলে খাদ্যের পরিমাণ অত্যধিক না বাড়াইয়াও ক্যালরির পরিমাণ বাড়ানো যায়। খাদ্যে কার্বোহাইড্রেট ও প্রোটিনের পরিমাণ নির্ধারণের পরে ঐগুলি হইতে প্রাপ্য কিলোক্যালরিকে মোট প্রয়োজনীয় কিলোক্যালরি হইতে বাদ দিয়া বিয়োগফলকে ফ্যাটের ক্যালরিমূল্য অর্থাৎ 9 দিয়া ভাগ করিলে খাদ্যে ফ্যাটের পরিমাণ (গ্রামে) নির্ণীত হয়। অপরিহার্য (essential) ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির অভাবজনিত রোগ নিবারণের জন্য আহার্যের মোট ক্যালরির কমপক্ষে 1% দিবার মত অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড প্রাত্যহিক খাদ্যতালিকায় থাকা বাঞ্ছনীয়। মাখন, ঘি, 'বনস্পতি' প্রভৃতি অপেক্ষাকৃত সংপৃক্ত ফ্যাট অধিক খাইলে রক্তে কোলেস্টেরল বৃদ্ধির প্রবণতা দেখা দেয় ; পক্ষান্তরে, সরিষার তেল, বাদাম তেল প্রভৃতি অসংপৃক্ত ফ্যাট রক্তে সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড, কোলেস্টেরল এবং মোট লিপিডের পরিমাণ কমাইতে পারে। অন্যদিকে মাখন ও ঘি হইতে যথেষ্ট পরিমাণে ভিটামিন এ ও ক্যারোটিন, ভিটামিনযুক্ত (fortified) 'বনস্পতি' হইতে ভিটামিন এ ও ডি এবং অসংপৃক্ত উদ্ভিজ্জ তৈলগুলি হইতে ভিটামিন ই ও অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড পাওয়া যায়। এসকল তথ্যের পরিপ্রেক্ষিতে মোট ফ্যাটের মোটামুটি $\frac{2}{3}$ অংশ অসংপৃক্ত উদ্ভিজ্জ তৈলের আকারে এবং অনধিক $\frac{1}{3}$ অংশ সংপৃক্ত ফ্যাটের আকারে গ্রহণ করাই যুক্তিযুক্ত। তাহা ছাড়া খাদ্যের অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের মোট পরিমাণের অন্ততঃ অর্ধেক বহু-অসংপৃক্ত (polyunsaturated) ফ্যাটি অ্যাসিড হওয়া উচিত ; অর্থাৎ সংপৃক্ত, এক-অসংপৃক্ত (monounsaturated) ও বহু-অসংপৃক্ত (polyunsaturated), এই তিন শ্রেণীর ফ্যাটি অ্যাসিডের পরিমাণ খাদ্যে এমন থাকা বাঞ্ছনীয় যে প্রত্যেক শ্রেণীর ফ্যাটি অ্যাসিডের দহনে দেহে মোট ক্যালরির $\frac{1}{10}$ অংশ উৎপন্ন হইতে পারে।

শ্রমের গুরুত্ব অনুসারে প্রাপ্তবয়স্ক নারীপুরুষের খাদ্যে ক্যালরি ও খাদ্যোপাদানের প্রয়োজনীয় পরিমাণ সারণী 21.1 এবং 21.2-এ প্রদত্ত হইয়াছে।

ক্যালসিয়ামের পর্যাপ্ত সরবরাহের জন্য পুঁটি, মৌরলা, খয়রা, সার্ডিন প্রভৃতি ছোট মাছ, গাজর, দুধ এবং পালং, কলমিশাক, মূলাশাক প্রভৃতি গাঢ় সবুজ শাক যথেষ্ট পরিমাণে আহার করা উচিত। সবুজ শাকসবজি, ডিমের কুসুম, বাদাম, তিল, মেটে প্রভৃতি খাইলে যথেষ্ট লৌহ পাওয়া যায়। নিয়মিত ঋতুস্রাবের জন্য রক্তক্ষয় ও লৌহের অপচয় হয় বলিয়া প্রাপ্তবয়স্কা নারীর প্রাত্যহিক আহার্যে লৌহের পরিমাণ পুরুষের তুলনায় 5 মিলিগ্রাম অধিক থাকা প্রয়োজন ; বার্ধক্যে ঋতুস্রাব বন্ধ হইয়া যাইবার পরে নারীকে পুরুষের অনুরূপ পরিমাণে লৌহ দিলেই চলে। আয়োডিনের জন্য কিছু পরিমাণে পিঁয়াজ, সামুদ্রিক মাছ এবং সামুদ্রিক জলজ উদ্ভিদ আহার্যের অন্তর্ভুক্ত হওয়া উচিত। পালং, কলমিশাক, ধনেপাতা, মেথিশাক, পিঁয়াজ-কলি, মূলাশাক, বাঁধাকপি, লেটুস প্রভৃতির সবুজ পাতা আহার্যতালিকার অন্তর্ভুক্ত করিলে যথেষ্ট ফোলিক অ্যাসিড, রাইবোফ্ল্যাভিন, ক্যারোটিন ও ভিটামিন কে পাওয়া যায়। অ্যাসকর্বিক অ্যাসিডের জন্য পাতিলেবু, কমলালেবু, মুসাম্বি প্রভৃতি টক ফল এবং ক্যারোটিনের জন্য গাজর, বীট, পাকা পেঁপে, আম প্রভৃতি পীতবর্ণ সবজি ও ফল নিয়মিত আহার করা বাঞ্ছনীয়।

উপরের আলোচনার পরিপ্রেক্ষিতে মধ্যম পরিশ্রমী পুরুষ ও নারীর দৈনিক সুষম খাদ্যতালিকার জন্য সারণী 21.4 দ্রষ্টব্য।

সারণী 21.4. কয়েকটি সুষম খাদ্যতালিকা (গ্রাম/দিন)।

খাদ্য	মধ্যম শ্রমী পুরুষ	মধ্যম শ্রমী নারী	মধ্যম শ্রমী গর্ভবতী নারী	মধ্যম শ্রমী স্তনদাত্রী নারী
সিদ্ধ চাল	425	320	350	375
ডাল (মুগ, মুসুর)	50	40	40	50
আলু	70	60	70	70
চিনি	50	40	55	55
দুধ	180	200	250	300
মাছ (রুই)	30	30	30	50
ডিম	30	30	30	50
মাখন	25	20	25	25
উদ্ভিজ্জ তৈল	45	30	35	35
শাক (পালং)	80	80	100	100
সবজি (পিঁয়াজ, বেগুন, ফুলকপি)	100	100	100	100
কলা	60	60	60	60
লেবু	30	30	30	30
কিলোক্যালরি	2820	2210	2500	2710

গর্ভবতী নারীর খাদ্য :

গর্ভাবস্থায় মোট ক্যালরি ও বিভিন্ন খাদ্যোপাদানের প্রয়োজনীয় পরিমাণের জন্য সারণী 21.1 ও 21.2 দ্রষ্টব্য।

গর্ভবতী নারীর খাদ্যে ক্যালরির প্রয়োজনীয়তা বৃদ্ধির একাধিক কারণ আছে। গর্ভাবস্থায়, বিশেষতঃ উহার শেষার্ধে মৌল বিপাকহার (BMR) লক্ষণীয়ভাবে বৃদ্ধি পায়, কারণ এসময়ে একদিকে মাতার জননাঙ্গগুলি যথেষ্ট বর্ধিত ও বিকশিত হওয়ায় ঐসকল কলার বিপাকহার বাড়ে এবং অন্যদিকে জরায়ুস্থ ভ্রূণের মৌল বিপাকহারও মাতার বিপাকহারেই যুক্ত হয়। ইহার উপরে আবার সন্তানধারণের জন্য দেহের ওজন বাড়ায় চলাফেরা ও প্রতিটি কাজকর্মে দেহভার বহনে ক্রমশঃ অধিক শক্তি ব্যয় করিতে হয়। ইহা ছাড়া গর্ভাবস্থায় মাতার লোহিত মজ্জায় অধিক সংখ্যায় লোহিত কণিকার উৎপাদন, জরায়ু, স্তন, ফ্যালোপিয়ান নালী প্রভৃতি স্ত্রী-অঙ্গের বৃদ্ধি ও বিকাশ এবং প্ল্যাসেণ্টা ও ভ্রূণের কলাগুলির উৎপত্তি, গঠন, বৃদ্ধি ও বিকাশের জন্যও ঐসকল অঙ্গ ও কলায় অতিরিক্ত খাদ্যবস্তু ও ক্যালরি সরবরাহ করিতে হয়। মাতার রক্ত, লসিকা প্রভৃতি দেহরসের (body fluid) আয়তন ক্রমশঃ যথেষ্ট বৃদ্ধি পাওয়ায় রক্তরসের প্রোটিনগুলির সংশ্লেষণে এবং হৃৎপিণ্ডের কার্যে শক্তিব্যয় বাড়ে। এসকল কারণে গর্ভধারণকালের শেষার্ধে স্বাভাবিক অবস্থার তুলনায় দিনে প্রায় 300 কিলোক্যালরি অতিরিক্ত শক্তির প্রয়োজন হয়। অবশ্য গর্ভ-কালের শেষার্ধে চলাফেরা ও কাজকর্ম কমাইয়া দিলে শ্রমের মাত্রাহ্রাসের অনুপাতে অতিরিক্ত ক্যালরির প্রয়োজনীয়তাও কিছু হ্রাস পায়; সেক্ষেত্রে অনেক সময়ে দিনে অনধিক 150 কিলোক্যালরির মত অতিরিক্ত খাদ্য আহার করিলেই চলে।

মাতার স্তন, জরায়ু, জরায়ুনালী প্রভৃতি বৃদ্ধিপ্রাপ্ত কলায় যথেষ্ট পরিমাণে প্রোটিনের সংশ্লেষণ ও সঞ্চয়, দেহে অধিক সংখ্যায় লোহিত কণিকার উৎপাদন, অধিকতর পরিমাণে হিমোগ্লোবিন ও রক্তরসের প্রোটিনগুলির সংশ্লেষণ এবং ভ্রূণের বিকাশমান অঙ্গ ও কলায় প্রভূত পরিমাণে প্রোটিনের সংশ্লেষণ ও সঞ্চয়—এসকল কারণে গর্ভধারণকালে খাদ্যে স্বাভাবিক অবস্থার তুলনায় অধিকতর পরিমাণে প্রোটিনের প্রয়োজন হয়। মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের জাতীয় বিজ্ঞান আকাদমির খাদ্য ও পুষ্টি পর্ষদ গর্ভাবস্থার শেষার্ধে স্বাভাবিক অবস্থার তুলনায় দিনে 30 গ্রাম অতিরিক্ত প্রোটিন খাওয়ার আবশ্যকতা ঘোষণা করিয়াছেন। বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থার মতে গর্ভের শেষ 6 মাস দৈনিক 6 গ্রাম অতিরিক্ত প্রোটিনের প্রয়োজন। ভারতীয় চিকিৎসা গবেষণা পরিষদ (ICMR)

ভারতীয় নারীদের জন্য গর্ভের শেষার্ধে প্রতিদিন অতিরিক্ত 10 গ্রাম প্রোটিন খাইবার সুপারিশ করিয়াছেন। গর্ভবতী নারীর দৈহিক ওজনের কিলোগ্রাম-প্রতি 1 গ্রাম প্রোটিন অর্থাৎ স্বাভাবিক অবস্থার তুলনায় কিলোগ্রাম-প্রতি অতিরিক্ত 0.2 গ্রাম প্রোটিন খাইলেই মোটামুটি চলিয়া যায়। অবশ্য ভুক্ত প্রোটিন সুপাচ্য হওয়া বাঞ্ছনীয় এবং তাহার প্রায় অর্ধেক উচ্চ জৈব মূল্যবিশিষ্ট জান্তব প্রোটিন হওয়াই পুষ্টির দিক দিয়া নিরাপদ।

ভ্রূণের অস্থিগঠনের জন্য যথেষ্ট পরিমাণে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাস এবং পেশী ও নার্ভকলার গঠনে কিছু ফসফরাসের প্রয়োজন হয়। মাতার দেহ হইতেই এই দুই উপাদান ভ্রূণের দেহে সরবরাহ করিতে হয়। এজন্য গর্ভবতী নারীর খাদ্যে স্বাভাবিক অবস্থার তুলনায় অনেক বেশি পরিমাণে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের প্রয়োজন ; আবার ঐ দুই উপাদানের সুষ্ঠু শোষণ ও বিপাকের জন্য অধিক পরিমাণে ভিটামিন ডি খাওয়াও অত্যাবশ্যক। গর্ভবতী নারী পর্যাপ্ত পরিমাণে দুধ পান করিলে যুগপৎ উচ্চ জৈব মূল্যের প্রোটিন, ক্যালসিয়াম ও ফসফরাসের প্রয়োজনীয়তা পূরণে সাহায্য হয়। গর্ভধারণকালে দিনে প্রায় 1.5 গ্রাম ক্যালসিয়াম, প্রায় সমপরিমাণ ফসফরাস এবং 400 ইন্টারন্যাশন্যাল একক (IU) মাত্রায় ভিটামিন ডি খাওয়া উচিত। গর্ভাবস্থায় এসকল উপাদানের অভাব ঘটিলে মাতার অস্থি হইতে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাস অপসারিত হইয়া ভ্রূণের অস্থিগঠনে প্রযুক্ত হয়, ফলে মাতার অস্টিওম্যালাশিয়া রোগ জন্মাইতে পারে (21.11 প্রসঙ্গ দ্রষ্টব্য) এবং মাতার শ্রোণীর (pelvis) অস্থিগুলির আকার বিকৃত হইয়া সন্তানজন্মেও ব্যাঘাত ঘটিতে পারে। মাতা ও ভ্রূণের বর্ধনশীল ও বিকাশমান কোলাজেন-ধর্মী কলাগুলির ও অস্থির ধাত্রে মিউকোপলিস্যাকারাইড সংশ্লেষণে সাহায্য করিবার জন্য অধিকতর পরিমাণে ভিটামিন এ প্রয়োজন হয়, আবার ঐসকল কলায় কোলাজেন তন্তুর উৎপাদন ও সুপরিণতিতে সহায়তার জন্য অধিক পরিমাণে ভিটামিন সি খাইবার আবশ্যকতা দেখা দেয়—গর্ভধারণকালে দিনে 5000 ইন্টারন্যাশন্যাল একক মাত্রায় ভিটামিন এ এবং 55 মিলিগ্রাম পরিমাণে ভিটামিন সি খাওয়া বাঞ্ছনীয়। নিয়মিত ভাবে কড, হ্যালিবাট বা হাঙ্গরের যকৃতের তৈল, তৈলাক্ত মাছ, মাছের 'তেল' বা অন্তরাঙ্গ (viscera) প্রভৃতি খাইয়া ভিটামিন এ এবং ডি-এর প্রয়োজনীয়তা পূরণ করা যায় ; পর্যাপ্ত পরিমাণে দুধ, গাজর ইত্যাদি খাইলেও ভিটামিন এ এবং ক্যারোটিন পাওয়া যায়। পক্ষান্তরে, অ্যাসকর্বিক অ্যাসিডের জন্য নিয়মিত একটি টক ফল খাওয়া বাঞ্ছনীয়। টোকোফেরলের সহিত জননতন্ত্রের ক্রিয়ার সম্ভাব্য যোগাযোগের

পরিপ্রেক্ষিতে গর্ভধারণকালে এই ভিটামিনটিরও প্রয়োজনীয়তা বাড়িবার সম্ভাবনা আছে—গর্ভবতী নারীর দৈনিক খাদ্যে ইহা 15 ইণ্টারন্যাশন্যাল একক পরিমাণে থাকা উচিত। খাদ্যের উদ্ভিজ্জ তৈল, 'বনস্পতি' ও ডিম হইতে এই ভিটামিনটি পাওয়া যায়।

প্রসবকালে মাতার এবং জন্মের পূর্বে ও অব্যবহিত পরে সন্তানের দেহে রক্তপাতের আশঙ্কা নিবারণের জন্য মাতাকে গর্ভধারণকালে অধিক পরিমাণে ভিটামিন কে খাইতে দেওয়া উচিত; তাহা ছাড়া সম্ভবতঃ ভ্রূণের অস্থিতে ক্যালসিয়াম-ধারক প্রোটিনের সংশ্লেষণের জন্যও গর্ভবতীর খাদ্যে উক্ত ভিটামিনের প্রয়োজনীয়তা বৃদ্ধি পায়। মাতা ও ভ্রূণ, উভয়ের দেহেই লোহিত রক্তকণিকা ও অন্যান্য দ্রুত বিভাজনরত (rapidly proliferative) কোষের বিকাশ ও সুপরিণতির জন্য গর্ভবতীর খাদ্যে ফোলিক অ্যাসিড ও ভিটামিন বি$_{12}$-এর যথেষ্ট প্রয়োজনীয়তা আছে—গর্ভাবস্থায় দিনে 800 মাইক্রোগ্রাম ফোলিক অ্যাসিড ও 4 মাইক্রোগ্রাম ভিটামিন বি$_{12}$ খাওয়া বাঞ্ছনীয়, নচেৎ ঐ দুই ভিটামিনের যে কোনওটির অভাবে মেগালোব্লাস্টিক বা ম্যাক্রোসাইটিক অ্যানিমিয়া হইতে পারে। গর্ভকালে লৌহের প্রয়োজনীয়তাও বৃদ্ধি পায়, কারণ হিমোগ্লোবিন উৎপাদনে এই উপাদানটি অপরিহার্য। গর্ভবতী নারীর খাদ্যে দিনে 20 মিলিগ্রাম লৌহের প্রয়োজন—লৌহের অভাবে গর্ভিণীর মাইক্রোসাইটিক অ্যানিমিয়া দেখা দেয়। পর্যাপ্ত পরিমাণে মাছমাংস, মেটে প্রভৃতি জান্তব প্রোটিন খাইয়া তাহা হইতে ভিটামিন বি$_{12}$ আহরণের ব্যবস্থা করা উচিত এবং গাঢ় সবুজ শাক আহারের পরিমাণ বাড়াইয়া ফোলিক অ্যাসিড ও লৌহের প্রয়োজনীয়তা পূরণ করা উচিত।

খাদ্যে অধিকতর প্রোটিন অন্তর্ভুক্ত করায় তাহার বিপাকের জন্য পাইরিডক্সিনের (ভিটামিন বি$_{6}$) প্রয়োজনীয়তা বাড়িয়া দিনে 2.5 মিলিগ্রাম দাঁড়ায়। খাদ্যে ক্যালরি ও দেহে জৈব ক্রিয়া বৃদ্ধির ফলে কোএনজাইম রূপে কাজ করিবার জন্য থিয়ামিন, রাইবোফ্ল্যাভিন, নিকোটিনিক অ্যাসিড প্রভৃতি বি-বর্গীয় ভিটামিনগুলির প্রয়োজনীয় পরিমাণও বৃদ্ধি পায়—দানাশস্য, ডাল, মাছমাংস, ডিম, দুধ ও সবুজ শাকপাতা হইতে প্রত্যহ 1.2 মিলিগ্রাম থিয়ামিন, 1.6 মিলিগ্রাম রাইবোফ্ল্যাভিন এবং 15 মিলিগ্রাম নিকোটিন-অ্যামাইড পাইবার ব্যবস্থা করা বাঞ্ছনীয়।

গর্ভাবস্থায় থাইরয়েড-হর্মোনের ক্ষরণ বৃদ্ধি পায়, সেজন্য গর্ভবতী নারীর খাদ্যে আয়োডিনের প্রয়োজনীয়তা বাড়ে—দিনে 125 মাইক্রোগ্রাম আয়োডিন

খাদ্য হইতে পাওয়া বাঞ্ছনীয় এবং সেজন্য প্রয়োজনমত পিঁয়াজ, সামুদ্রিক মাছ প্রভৃতি খাদ্য আহার্যতালিকার অন্তর্ভুক্ত করা উচিত।

গর্ভবতী নারীর নিজদেহে এবং জরায়ুস্থ ভ্রূণের দেহেও বিভিন্ন দেহরসের আয়তন বৃদ্ধি পাওয়ায় গর্ভিণীর প্রচুর পরিমাণে জল ও অন্য পানীয় পান করা কর্তব্য।

মধ্যম পরিশ্রমী গর্ভবতী নারীর জন্য প্রস্তাবিত দৈনিক সুষম খাদ্য-তালিকার জন্য 420 পৃষ্ঠায় সারণী 21.4 দ্রষ্টব্য।

স্তনদাত্রী নারীর খাদ্য : স্তনদাত্রী (lactating) নারীর খাদ্যে ক্যালরি ও খাদ্যোপাদানগুলির প্রয়োজনীয় পরিমাণের জন্য সারণী 21.1 ও 21.2 দ্রষ্টব্য।

স্তনে দুধের উপাদানগুলির সংশ্লেষণ ও সক্রিয় ক্ষরণের জন্য শক্তিব্যয় এবং দুধে ক্ষরিত উপাদানগুলির ক্যালরিমূল্য—এই দুই কারণেই স্তনদাত্রী নারীর খাদ্যে ক্যালরির প্রয়োজনীয়তা বাড়ে। সর্বোচ্চ মাত্রায় দুগ্ধক্ষরণের সময়ে বহু নারীর স্তন হইতেই দিনে 400-600 গ্রাম পর্যন্ত দুধ ক্ষরিত হইতে পারে। 400 গ্রাম দুধের উপাদানগুলির মোট ক্যালরিমূল্য প্রায় 270 কিলোক্যালরি ; তাহা ছাড়া প্রতি 100 গ্রামে প্রায় 45 কিলোক্যালরি হিসাবে 400 গ্রাম দুধের উপাদানগুলির সংশ্লেষণ ও ক্ষরণে আরও প্রায় 180 কিলোক্যালরি শক্তি ব্যয় হয়। অর্থাৎ দিনে 400 গ্রাম দুধ ক্ষরণের জন্য স্তনদাত্রী নারীর অতিরিক্ত শক্তিব্যয়ের পরিমাণ দাঁড়ায় 270+180=450 কিলোক্যালরি। এজন্য ক্ষরিত দুধের পরিমাণ অনুযায়ী খাদ্য হইতে দিনে অতিরিক্ত 500-700 কিলোক্যালরি পাওয়া প্রয়োজন।

প্রতি 100 গ্রাম নারীদুগ্ধে প্রায় 1.4 গ্রাম প্রোটিন থাকে। অতএব সর্বোচ্চ মাত্রায় দুগ্ধক্ষরণের সময়ে 400-600 গ্রাম দুধে প্রায় 56-85 গ্রাম প্রোটিন বাহির হইয়া যায়। এজন্য স্তনদাত্রী মাতাকে দিনে অতিরিক্ত 20 গ্রাম উচ্চ জৈব মূল্যের প্রোটিন খাইতে দেওয়া বাঞ্ছনীয়। দুধ, মেটে, ডিম, মাছ প্রভৃতি খাদ্যের পরিমাণ বাড়াইয়া এই প্রয়োজন পূরণ করা যায়।

প্রতি 100 গ্রাম নারীদুগ্ধে প্রায় 30 মিলিগ্রাম ক্যালসিয়াম ক্ষরিত হয়, অর্থাৎ সর্বোচ্চ মাত্রায় দুগ্ধক্ষরণের সময়ে দিনে প্রায় 120-180 মিলিগ্রাম ক্যালসিয়াম এবং তৎসহ যথেষ্ট ফসফরাস মাতার দেহ হইতে দুধে বাহির হয়। এজন্য স্তনদাত্রী নারীর প্রাত্যহিক খাদ্যে 1.5 গ্রাম ক্যালসিয়াম এবং

প্রায় সমপরিমাণ ফসফরাস থাকা বাঞ্ছনীয়। উহাদের শোষণ ও বিপাকে সাহায্য করিবার জন্য ভিটামিন ডি-এর প্রয়োজনীয়তাও বৃদ্ধি পায়—দিনে প্রায় 400 ইণ্টারন্যাশন্যাল একক (IU) মাত্রায় ভিটামিন ডি আহার করা প্রয়োজন। এই তিনটি উপাদানের অভাবে স্তনদাত্রী মাতার অস্থি হইতে ক্যালসিয়াম ও ফসফরাস অপসারিত হইয়া দুধে ক্ষরিত হইতে থাকে, ফলে অস্টিও-ম্যালাশিয়ার প্রবণতা দেখা দেয়।

দুধে ক্ষরিত ভিটামিন এ, রাইবোফ্ল্যাভিন এবং আয়োডিন শিশুর পুষ্টির জন্য অপরিহার্য। প্রতি 100 গ্রাম নারীদুগ্ধে প্রায় 100-140 ইণ্টারন্যাশন্যাল একক মাত্রায় ভিটামিন এ এবং প্রায় 40 মাইক্রোগ্রাম রাইবোফ্ল্যাভিন ক্ষরিত হয়। স্তনদাত্রী নারীর খাদ্যে এই সকল উপাদান অধিক পরিমাণে না থাকিলে দুধে ইহাদের অভাব ঘটিয়া শিশুর পুষ্টি ব্যাহত হইতে পারে; এজন্য স্তনদাত্রী নারীর দৈনিক আহার্যে 6000 ইণ্টারন্যাশন্যাল একক (IU) মাত্রায় ভিটামিন এ, 1.8 মিলিগ্রাম রাইবোফ্ল্যাভিন এবং 150 মাইক্রোগ্রাম আয়োডিন থাকা বাঞ্ছনীয়। স্তনদাত্রী মাতাকে পর্যাপ্ত পরিমাণে দুধ পান করিতে দিলে উচ্চ জৈব মূল্যের প্রোটিন, ক্যালসিয়াম, ভিটামিন এ, রাইবোফ্ল্যাভিন প্রভৃতির প্রয়োজনীয়তা পূরণে সাহায্য হয়। ক্যারোটিন, রাইবোফ্ল্যাভিন, ক্যালসিয়াম প্রভৃতির জন্য সবুজ শাকসবজি আহারের পরিমাণও বাড়ানো বাঞ্ছনীয়। স্তনদাত্রী মাতার দৈনিক আহার্যে 80 মিলিগ্রাম ভিটামিন সি থাকা প্রয়োজন; এজন্য কিছু টক ফল নিয়মিত গ্রহণ করা উচিত।

দুধের সহিত দিনে প্রায় 400-600 মিলিলিটার পর্যন্ত জল বাহির হইয়া যায়; এজন্য স্তনদাত্রী মাতাকে যথেষ্ট পরিমাণে জল ও অন্যান্য পানীয় পান করিতে দেওয়া বাঞ্ছনীয়।

মধ্যম পরিশ্রমী স্তনদাত্রী মাতার দৈনিক সুষম খাদ্যতালিকার জন্য 420 পৃষ্ঠায় সারণী 21.4 দ্রষ্টব্য।

বৃদ্ধির সময়ে খাদ্য : শৈশব ও বাল্যে প্রাপ্তবয়স্কের তুলনায় প্রতি কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য অধিকতর ক্যালরির প্রয়োজন। এই অতিরিক্ত খাদ্যবস্তু শিশু বা বালকের দেহে বর্ধনশীল কলাগুলির গঠন ও বিকাশে ব্যবহৃত হয়; তাহা ছাড়া সেসময়ে মৌল বিপাকহার (BMR) এবং খেলাধূলাজনিত শক্তিব্যয়ও প্রাপ্তবয়স্কের তুলনায় অধিক। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখ্য যে বালকবালিকা কোনও শিশুকে বহন করিলে অথবা বাসন-

মাজা, জল-তোলা প্রভৃতি গৃহস্থালী কাজে বা কোনও হস্তশিল্পে নিযুক্ত থাকিলে শ্রমের গুরুত্ব অনুসারে তাহাকে আরও অধিক ক্যালরি দেওয়ার প্রয়োজন হয়।

শিশু ও বালকের আহার্যে প্রাপ্তবয়স্কের তুলনায় অধিকতর প্রোটিন থাকা উচিত এবং খাদ্যের প্রোটিনে উচ্চ জৈব মূল্যাবিশিষ্ট প্রোটিনের অনুপাতও অপেক্ষাকৃত অধিক হওয়া প্রয়োজন, কারণ এসময়ে বর্ধিষ্ণু কলাগুলিতে দ্রুত প্রোটিনের সংশ্লেষণ ও সঞ্চয় চলিতে থাকে। এজন্য শিশু ও বালকবালিকার খাদ্যে ডিম ও পর্যাপ্ত পরিমাণে দুধ নিয়মিতভাবে থাকা উচিত। প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ বা নারীর দৈনিক আহার্যে প্রতি কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য 0.8 গ্রাম প্রোটিন থাকিলেই চলে, কিন্তু এক বৎসরের শিশুর কিলোগ্রাম-প্রতি 2 গ্রাম, 5 বৎসরের বালকের কিলোগ্রাম-প্রতি 1.5 গ্রাম এবং 10 বৎসরের বালকের কিলোগ্রাম-প্রতি 1.2 গ্রাম প্রোটিন খাওয়া আবশ্যক। যে সকল অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রাপ্তবয়স্কের আহার্যে অপরিহার্য (essential amino acids) সেগুলির সব কয়টিই শিশু ও বালকের পক্ষেও অপরিহার্য ; তাহা ছাড়া শিশুর খাদ্যে হিস্টিডিনও অন্যতম অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিড। প্রতি কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য প্রাপ্তবয়স্কের তুলনায় শিশু ও বালককে প্রতিটি অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডই অনেক বেশি পরিমাণে দেওয়া প্রয়োজন। দৃষ্টান্তস্বরূপ, 10 বৎসরের বালকের প্রাত্যহিক আহার্যে প্রতি কিলোগ্রাম দৈহিক ওজনের জন্য অপরিহার্য অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির পরিমাণ (মিলিগ্রামে) নিম্নরূপ হওয়া বাঞ্ছনীয় : ভ্যালিন : 25 ; মেথিওনিন : 20 ; থ্রিওনিন : 28 ; ট্রিপ্টোফ্যান : 4 ; ফিনাইলঅ্যালানিন : 20 ; লাইসিন : 44 ; লিউসিন : 42 ; আইসোলিউসিন : 28।

শিশু ও বালকবালিকার খাদ্যে অপরিহার্য (essential) ফ্যাটি অ্যাসিড-গুলির পরিমাণও প্রাপ্তবয়স্কের খাদ্যের তুলনায় অধিক থাকা বাঞ্ছনীয়—মোট ক্যালরির প্রায় 4% দিবার মত পরিমাণে অপরিহার্য ফ্যাটি অ্যাসিড প্রাত্যহিক আহার্যে থাকা উচিত এবং সেজন্য উপযুক্ত পরিমাণে উদ্ভিজ্জ তৈল, ডিমের কুসুম প্রভৃতি খাওয়া প্রয়োজন। অন্যদিকে ভিটামিন এ এবং ক্যারোটিনের উৎস হিসাবে কিছু মাখনও প্রতিদিনের খাদ্যে থাকা বাঞ্ছনীয়।

বিভিন্ন কারণে নিম্নলিখিত উপাদানগুলি প্রাপ্তবয়স্কের আহার্যের তুলনায় শৈশব ও বাল্যের আহার্যে অধিকতর পরিমাণে থাকা আবশ্যক : অস্থি ও দন্তের গঠন, বৃদ্ধি ও বিকাশের জন্য ক্যালসিয়াম, ফসফরাস ও ভিটামিন ডি ; কোলাজেন-ধর্মী কলা ও অস্থিতে মিউকোপলিস্যাকারাইড উৎপাদনের জন্য

এবং জেরপ্থ্যাল্মিয়া নামক চক্ষুরোগ নিবারণের জন্য ভিটামিন এ ; কোলাজেনের স্বাভাবিক সুপরিণতির জন্য ভিটামিন সি ; লোহিত রক্তকণিকার উৎপাদন ও বিকাশের জন্য ফোলিক অ্যাসিড ও ভিটামিন বি$_{12}$; হিমোগ্লোবিন সংশ্লেষণের জন্য লৌহ। ভারতের বহু অঞ্চলেই শিশু ও বালক-বালিকাদের মধ্যে ভিটামিন এ-র অভাবজনিত জেরপ্থ্যাল্মিয়া ও তাহার ফলস্বরূপ দৃষ্টিহীনতা এবং ভিটামিন ডি-র অভাবজনিত রিকেট্স্ রোগের প্রকোপ অত্যন্ত প্রকট।

21.13 বয়স্ক আহারমান (adult consumption unit)

কোনও জনসমষ্টির (population) গোষ্ঠী-প্রতি বা পরিবার-প্রতি খাদ্যের প্রয়োজনীয়তা নির্ণয় এবং পুষ্টিসংক্রান্ত সমীক্ষার জন্য বিভিন্ন বয়োগোষ্ঠী (age group), লিঙ্গ ও কর্মস্তরের ব্যক্তিদের পুষ্টিসংক্রান্ত প্রয়োজনীয়তাকে স্বাভাবিক প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষের পুষ্টিগত প্রয়োজনীয়তার ভিত্তিতে স্থাপিত এককে (unit) প্রকাশ করা হয়। খাদ্যের প্রয়োজনীয়তার এই সাধারণ মান বয়স্ক আহারমান বা এ.সি.ইউ. (adult consumption unit or ACU) নামে পরিচিত। লঘু পরিশ্রমী বা অবসরভোগী (sedentary) প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষের প্রাত্যহিক ক্যালরির প্রয়োজনীয়তাকে ($\simeq$2400 কিলোক্যালরি) এককরূপে অর্থাৎ 1 এ.সি.ইউ. ধরিয়া বিভিন্ন বয়স, অবস্থা ও লিঙ্গের ব্যক্তির ক্যালরির প্রয়োজনীয়তাকে সেই মানের ভিত্তিতে প্রকাশ করা হয়। ভারতীয় চিকিৎসা গবেষণা পরিষদ (ICMR) কর্তৃক প্রস্তাবিত এদেশীয়দের এ.সি.ইউ. নিম্নরূপ :

1. **প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ :** (*a*) অবসরভোগী বা লঘু পরিশ্রমী (sedentary) : 1.0 ; (*b*) মধ্যম পরিশ্রমী : 1.2 ; (*c*) কঠিন পরিশ্রমী : 1.6।

2. **প্রাপ্তবয়স্কা নারী :** (*a*) অবসরভোগী বা লঘু পরিশ্রমী : 0.8 ; (*b*) মধ্যম পরিশ্রমী : 0.9 ; (*c*) কঠিন পরিশ্রমী : 1.2।

3. **কিশোরকিশোরী** (12-21 বৎসর) : 1.0।

4. **শিশু :** (*a*) 1-3 বৎসর : 0.4 ; (*b*) 3-5 বৎসর : 0.5 ; (*c*) 5-7 বৎসর : 0.6 ; (*d*) 7-9 বৎসর : 0.7 ; (*e*) 9-12 বৎসর : 0.8।

একজন মধ্যম পরিশ্রমী প্রাপ্তবয়স্ক পুরুষ, একজন মধ্যম পরিশ্রমী প্রাপ্তবয়স্কা নারী, একজন অবসরভোগী প্রাপ্তবয়স্কা নারী, একটি 11 বৎসরের বালিকা এবং একটি 5 বৎসরের বালক লইয়া গঠিত পরিবারের দৈনিক খাদ্যে ক্যালরির

প্রয়োজনীয় পরিমাণ বয়স্ক আহারমানের (ACU) ভিত্তিতে এইভাবে হিসাব করা যায় :

মধ্যম পরিশ্রমী পুরুষ	= 1.2	1.0 এ.সি.ইউ. = 2400 কিলোক্যালরি
মধ্যম পরিশ্রমী নারী	= 0.9	4.3 এ.সি.ইউ. = 4.3 × 2400
অবসরভোগী নারী	= 0.8	= 10320 কিলোক্যালরি
11 বৎসরের বালিকা	= 0.8	∴ পরিবারটির দৈনিক
5 বৎসরের বালক	= 0.6	প্রয়োজনীয়তা = 10320
মোট এ.সি.ইউ.	= 4.3	কিলোক্যালরি।

অতঃপর সমীক্ষাধীন পরিবারের এক সপ্তাহের খাদ্যের ক্যালরিমূল্য হইতে প্রাত্যহিক ভুক্ত খাদ্যের গড় ক্যালরিমূল্য হিসাব করিয়া তাহার সহিত বয়স্ক আহারমান (ACU) হইতে অনুমিত ক্যালরির তুলনার মাধ্যমে পরিবারটির পুষ্টিগত মান বিচার করা যায়। বিকল্প পদ্ধতিতে সমীক্ষাধীন পরিবারের প্রাত্যহিক ভুক্ত খাদ্যের ক্যালরিমূল্যকে পরিবারটির বয়স্ক আহারমানের (ACU) সংখ্যা দিয়া ভাগ করিলে এ.সি.ইউ.-প্রতি ভুক্ত ক্যালরির পরিমাণ পাওয়া যায় এবং তাহা হইতে পরিবারটির পুষ্টিগত মান বিচার করা যায়।

21.14 অনশন

অনশনে (starvation) থাকিলে দেহে বিভিন্ন উপাদানের বিপাকে (metabolism) নানা পরিবর্তন ঘটাইয়া যথাসাধ্য শক্তি উৎপাদনের প্রয়াস করা হয়।

1. কার্বোহাইড্রেট বিপাক : উপবাসকালে খাদ্য হইতে কার্বোহাইড্রেট পাইবার উপায় না থাকায় দেহে সঞ্চিত কার্বোহাইড্রেটই শক্তি উৎপাদনে ব্যয় করিতে হয়। অনশনের সময়ে রক্তে গ্লুকোজের পরিমাণ হ্রাস পাওয়ায় ইনসুলিনের ক্ষরণ কমিয়া যায়, কিন্তু অ্যাড্রেন্যালিন ও গ্লুকোকর্টিকয়েড হর্মোন-গুলির ক্ষরণ বাড়ে; ইহার ফলে যকৃতে ফসফোরিলেজ ও গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজের ক্রিয়া বর্ধিত হইয়া গ্লাইকোজেনোলাইসিস বৃদ্ধি পায় এবং অনশনের প্রথম দিন-দুই যকৃতে সঞ্চিত গ্লাইকোজেন ভাঙ্গিয়া অধিক পরিমাণে গ্লুকোজ রক্তে আসিয়া রক্তশর্করার (blood sugar) মাত্রা অক্ষুণ্ণ রাখিতে চেষ্টা করে। দিন-দুয়েকের মধ্যেই যকৃতে গ্লাইকোজেনের পরিমাণ এবং রক্তশর্করা যথেষ্ট হ্রাস পায়। অনশনের সময়ে গ্লুকোজ-6-ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ ও সাইট্রেট ক্লিভেজ এনজাইমের ক্রিয়া হ্রাস পাইয়া কার্বোহাইড্রেট হইতে ফ্যাটের সংশ্লেষণ কমিয়া যায়, তাহা ছাড়া রক্তশর্করা হ্রাস পাওয়ায় যকৃতে গ্লুকোকাইনেজের ক্রিয়া কমিয়া গ্লাইকোজেনেসিসও হ্রাস পায় ; ফলে মেদকলা ও যকৃতের দ্বারা রক্ত হইতে

গ্লুকোজের অপসারণ এবং ফ্যাট বা গ্লাইকোজেন আকারে তাহার সঞ্চয়ও কমিয়া যায়, অর্থাৎ রক্তে যেটুকু গ্লুকোজ তখনও বর্তমান, তাহাকে পেশী প্রভৃতি কলায় সরবরাহের জন্যই রাখা হয়। সঞ্চিত গ্লাইকোজেন শক্তি উৎপাদনে ব্যয় হইয়া যাইতে থাকায় সরেখ (striated) পেশীতেও তাহার পরিমাণ কমিয়া যায়, কিন্তু হৃৎপেশীতে দীর্ঘ উপবাসের পরেও উহার পরিমাণ মোটামুটি স্বাভাবিক থাকে। অবশ্য দীর্ঘ অনশনের পরেও যকৃতে গ্লাইকোজেনের সঞ্চয় সম্পূর্ণ শূন্য হইয়া যায় না; রক্তশর্করাও প্রায় 40 মিলিগ্রাম/ডেসিলিটার মাত্রায় দীর্ঘদিন পর্যন্ত অব্যাহত থাকে। ইহার প্রধান কারণ যকৃত ও বৃক্কে শর্করাপ্রদ অ্যামাইনো অ্যাসিড, গ্লিসেরল, পাইরুভেট প্রভৃতি বস্তু হইতে গ্লুকোনিওজেনেসিসের মাধ্যমে গ্লাইকোজেন ও গ্লুকোজের উৎপাদন—অনশনের সময়ে ইনসুলিনের ক্ষরণ কমিয়া ও গ্লুকোকর্টিকয়েডের ক্ষরণ বাড়িয়া গ্লুকোজ-6-ফসফাটেজ, পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ, ফ্রুক্টোজ-1,6-ডাইফস্ফাটেজ প্রভৃতি গ্লুকোনিওজেনেসিস-সহায়ক এনজাইমের ক্রিয়া বৃদ্ধি পায়।

2. **ফ্যাট বিপাক**: অনশনের প্রথম দিন-দুয়েকের মধ্যেই দেহে সঞ্চিত কার্বোহাইড্রেট শক্তি উৎপাদনে ব্যয় হইয়া যাওয়ায় তাহার পর হইতে কিছুকাল প্রধানতঃ মেদকলা ও উপত্বকে (subcutaneous tissue) সঞ্চিত চর্বির জারণের দ্বারাই শক্তি উৎপাদনের প্রয়াস চলে। ফলে অনশনের দ্বিতীয় দিন হইতেই আর.কিউ. (RQ) কমিয়া 0.73 হইয়া যায়, কিটোনবর্গীয় পদার্থের উৎপাদন বাড়িয়া কিটোনাধিক্য (ketosis) ঘটে, মূত্রে কিটোনবর্গীয় পদার্থ বাহির হইতে থাকে এবং ক্রমে মেদকলায় চর্বি কমিয়া নিঃশেষ হইয়া আসে; ফলে ত্বকে আলগা ভাঁজ হইয়া ঝুলিয়া পড়ে এবং অন্তরাঙ্গগুলি (visceral organs) আলগা হইয়া স্থানচ্যুত হইতে পারে। মেদকলায় গ্লুকোকর্টিকয়েডের প্রভাবে হর্মোন-সেন্সিটিভ ট্রাইগ্লিসেরাইড লাইপেজের ক্রিয়া বাড়িয়া চর্বিবিশ্লেষ (lipolysis) বর্ধিত হয়, ফলে রক্তে মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের মাত্রা বাড়ে এবং যকৃত রক্ত হইতে ফ্যাটি অ্যাসিড আহরণ করিয়া চর্বিভারাক্রান্ত (fatty) হইয়া পড়ে।

3. **প্রোটিন বিপাক**: মেদকলায় সঞ্চিত চর্বি শক্তি উৎপাদনে ব্যয় হইয়া যাওয়ার পরে প্রধানতঃ কলার প্রোটিন ভাঙ্গিয়া অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপাদন করিয়া তাহার অপচিতির (catabolism) দ্বারা শক্তি উৎপাদনের ও রক্তশর্করাকে যথাসাধ্য অক্ষুণ্ণ রাখার প্রয়াস চলে। ফলে পেশী, যকৃত, প্লীহা, পৌষ্টিক নালী, ত্বক, হৃৎপিণ্ড প্রভৃতির প্রোটিন ক্ষয় পাইয়া উহাদের ভাঙ্গন ও কর্মহানি ঘটে। যকৃত-কোষে মাইটোকন্ড্রিয়া, গলগি অঙ্গ প্রভৃতি ভাঙ্গিতে থাকে, পেশীর ওজন ও পেশীতন্তুগুলির সংখ্যা ও আয়তন দ্রুত কমিতে থাকে, হৃৎস্পন্দনের হার ও

শক্তি এবং রক্তচাপ হ্রাস পায়, ত্বক শুষ্ক ও কুঞ্চিত হইয়া পড়ে, পৌষ্টিক নালীর শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী ও পেশীগুলির ভাঙ্গনের ফলে পরিপাক ও শোষণের সামর্থ্য হ্রাস বা লোপ পায়, দেহের বৃদ্ধি বন্ধ হয় এবং ওজন কমিয়া দেহ অত্যন্ত শীর্ণ হইতে থাকে। শক্তি উৎপাদনের কার্যে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির অপব্যয় হইতে থাকায় থাইরক্সিন, ইনসুলিন, গোনাডোট্রোপিন প্রভৃতি হর্মোনের সংশ্লেষণ ও ক্ষরণ হ্রাস পায়। অবশ্য মস্তিষ্কে প্রোটিনের অপচিতি অপেক্ষাকৃত কম হয় বলিয়া তাহার ওজন এবং বুদ্ধিবৃত্তি অক্ষুণ্ণ থাকে। প্রোটিনের বিপাকজাত ইউরিয়া, অ্যামোনিয়া, মুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রভৃতি প্রোটিনেতর নাইট্রোজেন-ঘটিত (NPN) বস্তু অধিক পরিমাণে মূত্রে রেচিত হইতে থাকে এবং দেহে ঋণাত্মক নাইট্রোজেন-সাম্য (negative nitrogen balance) সৃষ্ট হয়। পেশীর ভাঙ্গনের ফলে মূত্রে ক্রিয়াটিনের অস্বাভাবিক মাত্রাধিক্য ঘটে। ক্রমে রক্তে প্রোটিনের মাত্রাল্পতা ঘটিয়া রক্তরসের অভিস্রবণ-প্রেষ (osmotic pressure) হ্রাস পায়, ফলে হাতপা ও অন্যান্য অঙ্গে জল জমে (edema)।

4. **মৌল বিপাকহার (BMR) :** সরেখ পেশীর পরিমাণ ও টান (tone), মূত্রক্ষরণ, হৃৎস্পন্দন, থাইরক্সিনের ক্ষরণ এবং বহু এনজাইমের ক্রিয়া কমিয়া গিয়া মৌল বিপাকহার এবং শক্তি উৎপাদন হ্রাস পায়। ফলে দেহতাপ লক্ষণীয়ভাবে কমিয়া যায়।

5. **জল ও ধাতব লবণের বিপাক :** অনশনের প্রথম পর্যায়ে দেহ হইতে যথেষ্ট পরিমাণে কোষবহির্ভূত (extracellular) জল মূত্রে বাহির হইয়া যায় ; পরবর্তী পর্যায়ে প্রোটিনের বিপাক বাড়িবার পরে বিনষ্ট কোষগুলির কোষাভ্যন্তরীণ (intracellular) জলের অনেকটা অংশই মূত্রে বাহির হইতে থাকে। ক্রমশঃ রক্তরসের অভিস্রবণ-প্রেস কমিয়া কলায় জল জমিতে থাকে এবং বিনষ্ট কোষগুলির শূন্য স্থানে জল জমিয়া কোষবহির্ভূত জলের পরিমাণ আবার কিছুটা বাড়িতে থাকে। মূত্রক্ষরণ কমিয়া যাওয়ায় এবং বিপাকজাত (metabolic) জলের পরিমাণ বৃদ্ধি পাওয়ায় উপবাসকালে জল পানের আবশ্যকতা কিছু হ্রাস পায়। মূত্রে সোডিয়ামের রেচন কমাইয়া উহাকে দেহে সংরক্ষণের প্রয়াস চলে এবং কোষবহির্ভূত রসে উহার বিশেষ মাত্রাল্পতা ঘটে না। কিন্তু কোষগুলির বিনাশের ফলে কোষাভ্যন্তরীণ পটাসিয়ামের অপচয় ঘটিয়া দেহে সোডিয়াম : পটাসিয়াম অনুপাত বৃদ্ধি পায়। অস্থি ও অন্যান্য কলার ভাঙ্গনের ফলে মূত্রে ক্যালসিয়াম, ফসফেট, সালফেট প্রভৃতির পরিমাণ বৃদ্ধি পায় ; অবশ্য দীর্ঘ উপবাসে মূত্রে ফসফেট কমিয়া যায়।

পারিভাষিক শব্দ

এই গ্রন্থে ব্যবহৃত পারিভাষিক শব্দগুলির বর্ণানুক্রমিক তালিকা পাঠকপাঠিকার সুবিধার্থে নিম্নে প্রদত্ত হইল। তালিকায় সংকলিত পারিভাষিক শব্দগুলির উৎস প্রধানতঃ চারটি : (*i*) বর্তমান গ্রন্থের গ্রন্থকার কর্তৃক বিভিন্ন সময়ে রচিত ও প্রস্তাবিত পারিভাষিক শব্দের সংকলন ; (*ii*) কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের 'বৈজ্ঞানিক পরিভাষা' (1960) গ্রন্থ ; (*iii*) ভারত সরকারের বিজ্ঞান ও প্রযুক্তিবিষয়ক শব্দসম্বন্ধীয় আয়োগ কর্তৃক অনুমোদিত শব্দসংকলন : (*iv*) অন্যান্য লেখক কর্তৃক ব্যবহৃত বহু শব্দ।

অক্ষিপট retina
অগ্ন্যাশয়-রস pancreatic juice
অগ্ন্যাশয়োদ্দীপক pancreatropic
অগ্রপেষক premolar
অঙ্কীয় মধ্যাংশ ventromedial
অঙ্গসংস্থান anatomy
অচ্ছোদপটল cornea
অতিক্ষরণ hypersecretion
অত্যল্প ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন VLDL
অত্যুচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন VHDL
অধঃক্ষিপ্ত precipitated
অধঃশ্লৈষ্মিক submucous
অধিরোপণ transplantation
অনচ্ছ opaque
অনপরিহার্য nonessential
অনাক্রম্যতা immunity
অনায়নিত nonionized
অনিয়ত racemose
অনুঘটক catalyst
অনুপ্রস্থ transverse
অনুভূমিক horizontal
অনৈচ্ছিক involuntary
অন্তঃকোষ intracellular
অন্তঃঝিল্লী inner membrane
অন্তঃপায়ুবলয় internal anal sphincter
অন্তরক insulator
অন্তরকোষ intercellular
অন্তরাঙ্গ viscera
অন্তরিত insulated
অন্তর্মুখ (নার্ভ) afferent
অন্ত্র-যকৃত enterohepatic
অন্ধান্ত্র caecum
অপচিতি catabolism
অপরিহার্য essential
অপুষ্টি malnutrition
অবক্ষেপণ deposition
অবদমিত inhibited
অবদ্রব emulsion
অবদ্রবিত emulsified
অবদ্রাবক emulsifying
অবরোহী descending
অবশেষ remnant
অবসরভোগী sedentary
অবস্থান location
অবায়ব anaerobic
অবিজারক nonreducing
অবিদিত insensible
অবেদক anaesthetic
অভিক্ষেপ projection
অভিন্ন-একক single-unit
অভিস্রবণ osmosis
অভিস্রবণ-গ্রাহক osmoreceptor
অভিস্রবণ-প্রেষ osmotic pressure

অভ্যাসনিরপেক্ষ unconditioned
অভ্যাসনির্ভর conditioned
অম্লগ্রাহী acidophilic
অম্লধর্মী acidic
অম্লাধিক্য acidosis
অম্লীকরণ acidification
অযুগ্ম-কার্বন odd-carbon
অরেখ unstriated
অর্ধ-অপরিহার্য semi-indispensable
অর্ধচন্দ্র কোষ demilune cell
অর্ধপারগম্য semipermeable
অলিজিহ্বা uvula
অলিন্দনিলয় পর্ব AV node
অশোষিত unabsorbed
অসংপৃক্ত unsaturated
অসীমাক্ষী racemose
অস্থিগ্রাসী কোষ osteoclast
অ্যামাইড-স্থানান্তরণ transamidation
অ্যামাইনোস্থানান্তরণ transamination
অ্যামাইনোহরণ deamination
অ্যামোনিয়া-রেচক ammonotelic
অ্যাসাইল-বাহী acyl-carrier
অ্যাসেটাইল সংযোজন acetylation
আক্ষেপ convulsion
আগ্রাসী phagocytic
আঘাত trauma
আচ্ছাদনী sheath
আণব molecular
আণুবীক্ষণিক গঠন histology
আধান charge
আন্ত্রিক নিয়ম law of intestine
আন্ত্রিক রস intestinal juice
আবদ্ধ bound
আবরক কলা epithelial tissue
আবর্ত helix
আভ্যন্তরীণ intrinsic, endogenous
আয়নিত ionized
আয়নীভবন ionization
আরোহী ascending
আলোকতড়িৎ photoelectric
আলোকসহ photostable
আলোকসুবেদী photosensitive
আসক্তি affinity
আহারমান, বয়স্ক adult consumption unit
আহারেচ্ছা appetite
আহিত charged
ইউরিক-রেচক uricotelic
ইউরিয়া-রেচক ureotelic
ইনসুলিন-কাতরতা insulin-sensitivity
ইনসুলিন-বিরোধী anti-insulin
ইনসুলিনাধিক্য hyperinsulinism
ইন্ধনমান, শারীর physiological fuel value
ঈষদচ্ছ translucent
উচ্চ ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন HDL
উচ্চশক্তি (বন্ধনী) high-energy
উত্তেজনা irritability
উদরপদী Gastropoda
উদ্দীপনশক্তি excitability
উদ্দীপনা stimulus, stimulation
উপচিতি anabolism
উপত্বক subcutaneous
উপাত্ত data
ঊর্ধ্বগামী ascending
ঋজু linear
ঋণধর্মী, ঋণাত্মক negative
এক-অসংপৃক্ত monounsaturated
একমুখী irreversible
ওউস্সাই-বর্ণিত প্রাণী Houssay animal
ওডাই পেশীবলয় sphincter Oddi
কঙ্কালপেশী skeletal muscle
কটি lumbar

কণ্ডরা tendon
কণ্ডরাস্খলন perosis
কনীনিকা iris
কবচী প্রাণী Crustacea
কম্পন tremor
করোটিক cranial
কলসাকার flask-shaped
কলা tissue
কলারস tissue fluid
কশেরুকা vertebra
কার্বন-কঙ্কাল carbon skeleton
কিটোনবর্গীয় বস্তু ketone body
কিটোনাধিক্য ketosis
কিটো-প্রদ ketogenic
কিণ্বন fermentation
কুণ্ডলী loop
কুপরিবাহী poor conductor
কুশিং-বর্ণিত রোগ Cushing's syndrome
কৃন্তক (দন্ত) incisor
কৃষ্ণমণ্ডল choroid
কেরাটিন-যুক্ত keratinized
কৈশিক নালী capillary
কোরি-বর্ণিত চক্র Cori cycle
কোষগহ্বর vacuole
কোষচ্ছেদী (ক্ষরণ) holocrine
কোষঝিল্লী cell membrane
কোষদ্বীপ islet (cellular)
কোষনিঃসৃত (রস) transcellular
কোষবহির্ভূত extracellular
কোষাঙ্গক organelle
কোষাভ্যন্তরীণ intracellular
কোষ্ঠক alveolus, acinus
ক্যালরিমান calorie equivalent
ক্যালরিমিতি, অপ্রত্যক্ষ indirect calorimetry
ক্যালরিমূল্য caloric value
ক্যালসিয়াম-কাঠিন্য calcium rigor
ক্যালসিয়াম-ধারক calcium-binding
ক্যালসিয়াম-বাহক calcium carrier
ক্রম sequence
ক্রমসংকোচ peristalsis
ক্রমাবনতি gradient
ক্রিয়াধীন বস্তু substrate
ক্লোরাইড-স্থানান্তরণ chloride shift
ক্ষণপাদ pseudopodium
ক্ষত lesion, ulcer
ক্ষরণ secretion
ক্ষরণ-গহ্বর secretory vacuole
ক্ষরণোদ্দীপক (নার্ভ) trophic
ক্ষারগ্রাহী basophilic
ক্ষারধর্মী basic
ক্ষারপ্রবাহ, আহারোত্তর postprandial alkaline tide
ক্ষুদ্রাণু (ফ্যাটি অ্যাসিড) lower, short-chain
ক্ষুদ্রান্ত্র small intestine
ক্ষুন্নিবৃত্তি satiety
ক্ষেত্রফল surface area
খণ্ডক segment
খণ্ডিকা lobule
খাদ্যপিণ্ড food bolus
খাদ্যমণ্ড chyme
খিঁচুনি cramp
খোলক গ্রন্থি shell gland
গতিনিয়ন্ত্রক rate-limiting
গতিনিয়ামক pacemaker
গন্ধকহরণ desulfuration
গন্ধগ্রাহী olfactory
গলগণ্ড goiter
গলনাঙ্ক melting point
গলবিল pharynx
গলাধঃকরণ deglutition
গহ্বরপূর্ণ vacuolated

গাঢ়তা concentration
গুণগত facultative
গুরুমস্তিষ্ক cerebrum
গুহা-গ্রন্থি crypts
গ্রন্থি gland
গ্রহণী duodenum
গ্রাসনালী œsophagus
গ্রাহক receptor
গ্রীবাদেশীয় cervical
গ্লাইকোজেন-বিশ্লেষ glycogenolysis
গ্লাইকোজেন-সংশ্লেষণ glycogenesis
গ্লাইকোজেন-স্থিতীয় glycostatic
গ্লুকোজশোষণসীমা, বৃক্কীয় renal threshold for glucose
গ্লুকোজ-সহনশীলতা glucose tolerance
ঘটক factor
ঘনত্ব density
ঘনসন্নিবিষ্ট packed
ঘর্মগ্রন্থি sweat gland
ঘোরবর্ণ dark
চর্বণ mastication
চর্বি fat
চর্বিদ্রাব্য fat-soluble
চর্বিপাককারী lipolytic
চর্বিবিশ্লেষ lipolysis
চর্বিভারাক্রান্ত fatty
চর্বিসংশ্লেষণ lipogenesis
চর্বিসঞ্চালক lipotropic
চর্বি-স্থানান্তরণ fat mobilisation
চর্বিস্থিতি প্রকল্পনা lipostatic hypothesis
চর্মরোগ dermatitis
চাপগ্রাহক baroceptor
চার্মগ্রাহক cutaneous receptor
চেষ্টীয় (নার্ভ) motor
ছদন polarization
ছান্দিক rhythmic
ছাপ, পেয়ার-বর্ণিত Peyer's patches
ছেদক (দন্ত) canine
জটিল convoluted
জনন reproduction
জরায়ু uterus
জরায়ুনালী Fallopian tube
জলক্ষয় water loss
জলদ্রাব্য water-soluble
জলবিকর্ষী hydrophobic
জলবিশ্লিষ্ট hydrolysed
জলবিশ্লেষ hydrolysis
জলযুক্ত hydrated
জলহীনতা dehydration
জলাকর্ষী hydrophilic
জলাবর্তী hydrotropic
জলাভাব water depletion
জায়মান nascent
জারক oxidative
জারণ oxidation
জারণ-নিবারক anti-oxidant
জারণ-বিরহিত non-oxidative
জারিত oxidized
জাল plexus
জিহ্বা-পিড়কা lingual papilla
জীববিষ toxin
জীবাণুঘটিত microbiological
জীবাণুনাশক bacteriolytic
জৈব মূল্য biological value
ঝিল্লী membrane
ঝিল্লী-নির্যাস mucosal extract
ঝিল্লীপেশী muscularis mucosae
ঝিল্লীবিভব membrane potential
ঝিল্লীবিশ্লেষণ dialysis
ঝিল্লীবেষ্টিত membrane-bound
টান tone, stretch, tension
টানগ্রাহক stretch receptor

ডিম্বাশয় ovary
তঞ্চন coagulation
তঞ্চননিবারক anticoagulant
তড়িৎক্ষেত্র electrical field
তড়িৎবিভব electrical potential
তন্তু fibre
তরুণাস্থি cartilage
তান্তব fibrous
তাপসহ thermostable
তাপোৎপাদক calorigenic
তারকাকৃতি star-shaped, stellate
তার্কব spindle-shaped
তালু palate
তির্যক oblique
ত্রিকাস্থি sacrum
ত্রৈমাসিক trimester
দণ্ড rod
দন্তকোটর tooth-socket
দন্তকোষ odontoblast
দন্তক্ষয় caries
দন্তক্ষয়নিবারক cariostatic
দন্তমজ্জা dental pulp
দন্তযোজক cementum
দন্তাস্থি dentine
দানা granule
দীর্ঘাণু (ফ্যাটি অ্যাসিড) higher, long-chain
দুই-কার্বক্সিলযুক্ত dicarboxylic
দুগ্ধক্ষরণকারী (স্তন) lactating
দেহপৃষ্ঠ body surface
দেহরস body fluid
দৈর্ঘ্যাভিমুখী longitudinal
দোলক সঞ্চালন pendular movement
দ্রাবক solvent
দ্রাব্যতা solubility
দ্বিবন্ধনী double-bond
দ্বিবাহু bipolar
দ্বিযোজী bivalent
ধনধর্মী positive
ধনাত্মক positive
ধমনীকাঠিন্য arteriosclerosis
ধাত্র matrix
ধারক supporting, binding
ধূসর বস্তু grey matter
নবশর্করাসৃজন gluconeogenesis
নরমিতীয় anthropometric
নাইট্রোজেন-ঘটিত nitrogenous
নার্ভগ্রন্থি ganglion
নার্ভগ্রন্থি-উত্তর postganglionic
নার্ভগ্রন্থিপূর্ব preganglionic
নার্ভজাল nerve plexus
নার্ভীয় বিভবপ্রবাহ nerve impulse
নাসা-গলবিল nasopharynx
নাসাবিবর nasal cavity
নিদ্রালুতা hypersomnolence
নিম্নগামী descending
নিম্ন ঘনত্বের লাইপোপ্রোটিন LDL
নিম্নশক্তি low-energy
নির্বিষকরণ detoxication
নির্যাস extract
নেত্রশ্লেষ্মাঝিল্লী conjunctiva
ন্যাবা jaundice
পক্ষাঘাতজনিত paralytic
পঙ্কিলতা turbidity
পচন putrefaction
পরাসমবেদী parasympathetic
পরাসমবেদীনাশক parasympatholytic
পরিপ্লব mobile
পরিস্রাবণ filtration
পরিস্রুত রস filtrate
পর্যায় phase
পাংশু pale
পাককারী digesting, -lytic

পাকস্থলী-রস gastric juice
পাচকরস digestive juice
পাচনতন্ত্র digestive system
পাচনাঙ্ক digestibility coefficient
পাদদেশীয় basal
পানপাত্র কোষ goblet cell
পাভলভ-থলি Pavlov pouch
পারগম্য permeable
পারগম্যতা permeability
পার্শ্ব-, পার্শ্বীয় lateral
পিচ্ছিলতাসাধন lubrication
পিড়কা papilla
পিত্ত bile
পিত্ত-উদ্দীপক choleretic
পিত্তজলোদ্দীপক hydrocholeretic
পিত্তনালী bile duct
পিত্তপ্রণালিকা bile canaliculi
পিত্তবর্ধক cholagogue
পিত্তরঙ্গক bile pigment
পিত্তলবণ bile salt
পিত্তাশয় gall bladder
পিত্তাশয়-নালী cystic duct
পুনঃশোষণ reabsorption
পুনর্ছদন repolarization
পুষ্টিনিয়ন্ত্রক অ্যামাইনো অ্যাসিড limiting amino acid
পূরক complementary
পৃষ্ঠ surface
পৃষ্ঠটান surface tension
পৃষ্ঠ্য dorsal
পেশীবলয় sphincter
পেশীবিকৃতি muscular dystrophy
পেশীস্তর muscle coat
পেষক (দন্ত) molar
পৈশিক আবরক myoepithelial
পোষক host
পৌষ্টিক নালী alimentary canal
প্রণালিকা canaliculus, tubule
প্রণালী duct, canal
প্রতিবর্ত reflex
প্রতিরূপ model
প্রতিসংকেতক anticodon
প্রথমাংশ proximal
প্রদাহ inflammation
প্রশম neutral
প্রসার range
প্রসারণ dilatation
প্রান্তফলক endplate
প্রান্তসন্নিকর্ষ synapse
প্রান্তীয় peripheral, terminal
প্রোটিনসংরক্ষক protein-sparing
প্রোটিনাবদ্ধ protein-bound
প্রোটিনেতর nonprotein, prosthetic
প্লীহা spleen
ফসফেট-সংযোজন phosphorylation
ফসফোবিশ্লেষ phosphorolysis
বংশগতীয় সংকেত genetic code
বক্রতা curvature
বক্ষখণ্ডক thoracic segment
বন্ধনী bond
বন্ধ্যাত্ব sterility
বমনেচ্ছা nausea
বয়স্ক আহারমান ACU
বর্জ্য দ্রব্য waste product
বর্ণমাপক colorimeter
বলয় ring
বলিষ্ঠ ক্রমসংকোচ mass peristalsis
বহিঃঝিল্লী outer membrane
বহিঃপায়ুবলয় external anal sphincter
বহির্মুখ (নার্ভ) efferent
বহু-অসংপৃক্ত polyunsaturated
বহুকোণী polygonal
বহুতল polyhedral

বাধাজনিত obstructive
বাধ্যতামূলক obligatory
বায়ব aerobic
বায়ুবৃদ্ধি flatulence
বায়ুস্থলী pulmonary alveolus
বাহুবহুল multi-arm
বাহ্যাংশ cortex
বিকার degeneration, necrosis
বিকারক reagent
বিকাশমান developing
বিকৃতি (পেশী) dystrophy
বিক্রিয়া reaction
বিখণ্ডন segmentation
বিছদন depolarization
বিজারক reducing
বিজারণ reduction
বিজারণ-নির্ভর reductive
বিজারিত reduced
বিটা-জারণ beta oxidation
বিপরীত reverse, anti-
বিপাক metabolism
বিপাকজাত metabolic
বিপাকনিবারক metabolic inhibitor
বিপাচিত metabolized
বিবর lumen
বিবরমুখী luminal
বিভব potential
বিভাজনরত proliferative
বিশেষ চল-ক্রিয়া SDA
বিশ্লেষ dissociation
বিষক্রিয়া toxicity
বিসমবলয়িত heterocyclic
বীজবারক antiseptic
বুদ্ধিভ্রংশ dementia
বুরুশপ্রান্ত brush-bordered
বৃক্কীয় renal
বৃত্তাকার circular
বৃহদণু (ফ্যাটি অ্যাসিড) higher
বৃহদন্ত্র large intestine
ব্যাপন diffusion
ব্যাপ্যতা diffusibility
ভঙ্গুরতা fragility
ভর mass
ভাণ্ডীকরণ haustration
ভিত্তিকোষ basal cell
ভিত্তিঝিল্লী basement membrane
ভৌত physical
মজ্জা bone marrow
মধুমেহ diabetes mellitus
মধুমেহ-উৎপাদক diabetogenic
মধ্য-ক্ষুদ্রান্ত্র jejunum
মধ্যচ্ছদা diaphragm
মধ্যাংশ medulla
মলত্যাগ defecation
মলদ্বার anus
মলনালী rectum
মলাশয় colon
মস্তিষ্কনিলয় cerebral ventricle
মস্তিষ্কবিদ্যুল্লেখ EEG
মাংসসার meat extract
মায়ালিন-বিহীন nonmyelinated
মিথাইল-সংযোজন methylation
মিথাইল-স্থানান্তরণ transmethylation
মিথ্যা আহার sham feeding
মুখ-গলবিল oropharynx
মূত্রাধিক্য diabetes insipidus
মূত্রাধিক্যরোধক antidiuretic
মৃত্যুকাঠিন্য rigor mortis
মেদকলা adipose tissue
মেদবৃদ্ধি obesity
মৌল বিপাকহার BMR
যকৃতজনিত hepatic
যকৃতনালী hepatic duct
যকৃতবিকার cirrhosis, hepatic necrosis

যকৃতেতর extrahepatic
যুগলবন্ধ বিধি base-pairing rule
যোগকলা connective tissue
যৌগ compound
রক্তকণিকাধিক্য polycythemia
রক্তনালিকা blood sinusoid
রক্তনাশজনিত hemolytic
রক্তবাহ blood vessel
রক্তবাহপ্রসারক vasodilator
রক্তমস্তু serum
রক্তরস plasma
রক্তশর্করা blood sugar
রক্তশর্করাধিক্য hyperglycemia
রক্তশর্করাল্পতা hypoglycemia
রক্তাল্পতা anemia
রঙ্গক pigment
রঞ্জক dye
রদনক (দন্ত) canine
রসকোষ serous cell
রসকোষ্টক serous alveolus
রসগ্রন্থি serous gland
রসগ্রাহক chemoreceptor
রসস্ফীতি edema
রসোদ্দীপক (নার্ভ) secretory
রাত্র্যন্ধতা nightblindness
রেচন excretion
রেচিত excreted
রৌপ্যাসক্ত argentaffin
লঘু dilute
লঘুবর্ণ lighter
লবণগ্রন্থি salt gland
লবণাভাব salt depletion
লসিকাগুটিকা lymph nodule
লসিকানালী lacteal
লসিকাবাহ lymph vessel, lymphatic
লেশ মৌল trace element
লৌহবাহক ভাণ্ডার carrier iron pool
শঙ্কু cone
শম্বুক Mollusca
শর্করা-কিটো-প্রদ glycogenic-ketogenic
শর্করাপ্রদ glycogenic
শল্কাকার squamous
শাঙ্কব conical
শিখরচ্ছেদী (ক্ষরণ) apocrine
শিরঃপর্যায় cephalic phase
শুক্রস্থলী seminal vesicle
শুক্রাণু spermatozoa
শুক্রাশয় testis
শেষ-ক্ষুদ্রান্ত্র ileum
শেষাংশ distal
শৈথিল্য relaxation
শোষণ absorption
শোষণোত্তর postabsorptive
শ্রোণীদেশীয় pelvic
শ্লথন diastole
শ্লেষ্মাকোষ্টক mucous alveolus
শ্লেষ্মাগ্রন্থি mucous gland
শ্লৈষ্মিক ঝিল্লী mucous membrane
শ্বাসনালী trachea
শ্বাসরঙ্গক respiratory pigment
শ্বাসরন্ধ্র glottis
শ্বাসানুপাত RQ
শ্বেত বস্তু white matter
সংকেতক codon, indicator
সংকোচন contraction
সংগ্রাহক collecting
সংজ্ঞাবহ (নার্ভ) sensory
সংজ্ঞালোপ coma
সংপৃক্ত saturated
সংবহন circulation
সংশ্লেষণ synthesis
সংশ্লেষিত synthesized

সচল (মিথাইল বর্গ) labile
সঞ্চালন movement
সন্ধিবন্ধনী ligament
সমতাপীয় thermoneutral
সমবেদী sympathetic
সমবেদী-অনুকারী sympathomimetic
সমমাত্র cubical
সমস্থিতি equilibrium
সম্পূরক supplementary
সরেখ striated
সর্পিল spiral
সর্বোত্তম optimum
সহজীবিতা symbiosis
সহনশীলতা tolerance
সাকার formed
সান্দ্র viscous
সাম্য balance
সুকৃত ব্যাপন facilitated diffusion
সুষম balanced (diet)
সুষুম্নাকাণ্ড spinal cord
সুষুম্নাশীর্ষক medulla oblongata
সূচক index
স্তনদাত্রী (মাতা) lactating
স্তম্ভকাকৃতি cylindrical
স্তম্ভাকার columnar
স্তরিত stratified
স্থিতিস্থাপক elastic
স্পন্দন rhythmicity
স্পর্শগ্রাহক touch receptor
স্বতঃক্রিয় autonomic
স্বর-গলবিল laryngopharynx
স্বরযন্ত্র larynx
স্বাদকোরক taste bud
স্বাদকোষ taste cell
স্বাদগ্রাহী gustatory
স্বাস্থ্য পুনরুদ্ধার convalescence
স্বেদ perspiration
হিম-ইতর non-heme
হৃৎপেশী cardiac muscle
হৃৎ-মুখী প্রান্ত cardiac end

গ্রন্থে ব্যবহৃত সংক্ষিপ্ত শব্দ

সংক্ষিপ্ত শব্দ	মূল বিদেশী শব্দ
আই. ইউ.	IU/international unit
আর-আর.এন.এ.	rRNA/ribosomal RNA
আর.এন.এ.	RNA/ribonucleic acid
আর.কিউ.	RQ/respiratory quotient
ইউ-এম-পি	UMP/uridine monophosphate
ইউটিপি	UTP/uridine triphosphate
ইউডিপি	UDP/uridine diphosphate
এইচএমজি-কো-এ	HMG-CoA / beta-hydroxy-beta-methylglutaryl-coenzyme A
এ-এম-পি	AMP/adenosine monophosphate
এটিপি	ATP/adenosine triphosphate
এটিপেজ	ATPase/adenosine triphosphatase
এডিপি	ADP/adenosine diphosphate
এন-এ-ডি	NAD^+/nicotinamide adenine dinucleotide
এন-এ-ডি-এইচ	NADH/reduced NAD^+
এন-এ-ডি-পি	$NADP^+$/NAD^+ phosphate
এন-এ-ডি-পি-এইচ	NADPH/reduced $NADP^+$
এফ-এ-ডি	FAD/flavin adenine dinucleotide
এফ-এম-এন	FMN/flavin monomucleotide
এম-আর.এন.এ.	mRNA/messenger RNA
এ.সি.ইউ.	ACU/adult consumption unit
এসিপি	ACP/acyl-carrier protein
কো-এ	Co-A/coenzyme A
জিএমপি	GMP/guanosine monophosphate
জিটিপি	GTP/guanosine triphosphate
জিডিপি	GDP/guanosine diphosphate
টি-আর.এন.এ.	tRNA/transfer RNA
টিপিপি	TPP/thiamine pyrophosphate
ডি-ইউডিপি	dUDP/deoxy-UDP
ডি-এটিপি	dATP/deoxy-ATP
ডি-এডিপি	dADP/deoxy-ADP
ডি.এন.এ.	DNA/deoxyribonucleic acid

সংক্ষিপ্ত শব্দ	মূল বিদেশী শব্দ
ডি-জিডিপি	dGDP/deoxy-GDP
ডি-টি-এম-পি	dTMP/deoxythymidine monophosphate
ডি-টিটিপি	dTTP/deoxythymidine triphosphate
ডি-সিটিপি	dCTP/deoxycytidine triphosphate
ড-সিডিপি	dCDP/deoxycytidine diphosphate
ডোপা	DOPA/3,4-dihydroxyphenylalanine
পি-আর-পি-পি	PRPP/5-phosphoribosyl-1-pyrophosphate
পি-এইচ	pH
সিএমপি	CMP/cytidine monophosphate
সিটিপি	CTP/cytidine triphosphate
সিডিপি	CDP/cytidine diphosphate

নিদর্শপঞ্জী

(Bibliography)

Antia, F. P., *Clinical Dietetics and Nutrition,* 2nd ed., Oxford Univ. Press, 1975.

Bogert, L. J., Briggs, G. M. & Calloway, D. H., *Nutrition and Physical Fitness*, 9th ed., Saunders, 1973.

Cole, A. S. & Eastoe, J. E., *Biochemistry and Oral Biology*, Toppan, 1977.

Dagley, S. & Nicholson, D. E , *An Introduction to Metabolic Pathways*, Blackwell, 1970.

Danishefsky, I., *Biochemistry for Medical Sciences*, Little, Brown & Co., 1980.

Das, D., *Biochemistry*, 2nd ed. (Reprinted), Academic Publishers, 1982.

Das, D., *Biophysics and Biophysical Chemistry for Medical and Biology Students*, Academic Publishers, 1982.

Davidson, S., Passmore, R., Brock, J. F. & Truswell, A. S., *Human Nutrition and Dietetics*, 6th ed., ELBS : Churchill Livingstone, 1975.

Food and Nutrition Board, *Recommended Dietary Allowances*, 8th ed., National Academy of Sciences, Washington DC, 1974.

Gopalan, C. & Narasinga Rao, B. S., *Dietary Allowances for Indians*, ICMR, 1971.

Guyton, A. C., *Textbook of Medical Physiology*, 6th ed., Saunders, 1981.

Ham, A. W. & Cormack, D. H., *Histology*, 8th ed., Lippincott, 1979.

Henderson, J. F. & Paterson, A. R. P., *Nucleotide Metabolism*, Academic Press, 1973.

Indian Council of Medical Research, *Nutritive value of Indian Foods*, 1971.

Kornberg, A., *DNA synthesis*, Freeman, 1974.

Lehninger, A. L., *Biochemistry*, 2nd ed. (Reprinted), Kalyani Publishers, 1982.

Marks, V. & Hales, C.N., ed., *Essays in Medical Biochemistry*, II, Biochemical Society : Association of Clinical Biochemists, London, 1976.

Martin, D. W., Mayes, P. A. & Rodwell, V. W., *Harper's Review of Biochemistry*, 18th ed., Lange : Maruzen, 1981.

McDivitt, M. E. & Mudambi, S. R., *Human Nutrition : Principles and Applications in India*, Prentice-Hall of India, 1973.

Miyoshi, A., ed., *Gut Peptides*, Kodansha, 1979.

Orten, J. W. & Neuhaus, O. W., *Human Biochemistry*, 10th ed., Mosby, 1982.

Patwardhan, V. N., *Dietary Allowances for Indians : Calories and Proteins*, ICMR, 1960.

Prosser, C. L., ed., *Comparative Animal Physiology*, I & II, 3rd ed., Saunders, 1973.

Somogyi, J. C. & Macdonald, I., ed., *The Gut and Nutrition*, S. Karger, 1975.

Underwood, E. J., *Trace elements in Human and Animal Nutrition*, 4th ed., Academic Press, 1977.

White, A., Handler, P., Smith, E. L., Hill, R. L. & Lehman, I. R., *Principles of Biochemistry*, 6th ed., McGraw-Hill : Kogakusha, 1978.

Wohl, M. G. & Goodhart, R. S., ed., *Modern Nutrition in Health and Disease*, 5th ed., Lea & Febiger, 1973.

Yudkin, M. & Offord, R., *Comprehensible Biochemistry*, ELBS : Longman, 1980.

বর্ণানুক্রমিক বিষয়সূচী